This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

LANE MEDICAL LIBRARY STANFORD
2 45 0412 9207

LANE

MEDICAL LIBRARY

LEVI COOPER LANE FUND

TRAITÉ

DE

PHYSIOLOGIE

PAR

F. A. LONGET

Membre de l'Académie impériale de médecine,
de la Société philomatique de Paris,
correspondant de l'Académie des Curieux de la Nature, de l'Institut de Bologne,
de l'Académie des sciences de Turin, des Sociétés des sciences naturelles et médicales de Fribourg,
de Francfort-sur-le-Mein, de Liége, de Stockholm, de Vienne, etc.

DEUXIÈME ÉDITION

TOME PREMIER.

~~IIe Partie.~~

Fascicules 1er et 2e. — Digestion, Absorption, Respiration.

(Second tirage sans changements.)

LANE MEDICAL LIBRARY
7831
SAN FRANCISCO

PARIS

LIBRAIRIE DE VICTOR MASSON

PLACE DE L'ÉCOLE-DE-MÉDECINE, 17

AVRIL 1859

Droits de traduction réservés

LANE LIBRARY

F34
L85
t.1-2
1859
vol 1 - 2nd part

DU SANG.

Le *sang* emprunte aux voies digestives des substances déjà élaborées, et au milieu ambiant, de l'*oxygène*, agent nécessaire de toutes les réactions physico-chimiques de l'économie. En même temps il reçoit les produits ultimes des métamorphoses de la nutrition, qui doivent être rejetés au dehors : les liquides sont charriés vers les divers émonctoires de l'organisme, les gaz s'échappent par les surfaces respiratoires. — Ainsi le sang, avec sa constitution complexe, représente un fluide à la fois réparateur et épurateur, sans cesse renouvelé d'un côté à mesure qu'il est détruit de l'autre ; c'est le milieu dans lequel s'accomplissent tous les phénomènes essentiels de la nutrition.

Précédemment, en traçant l'histoire de la respiration, nous avons dû, à propos de l'échange de gaz qui s'opère durant le contact médiat de l'*air* et du *sang*, étudier la constitution normale de ces deux fluides : la *composition chimique du sang* nous est déjà connue (*).

Dans cette dernière étude, après le dénombrement des matières ou des éléments signalés jusqu'à ce jour par les chimistes, nous avons essayé de remplir une tâche difficile : celle de grouper des substances aussi nombreuses, d'après leur nature, leurs analogies, leur origine et leur destination, en nous appliquant surtout à distinguer les parties réellement constituantes du sang de celles qui ne sont qu'accessoires.

Nous avons également fait connaître (p. 493) les *gaz contenus dans le sang*, et exposé les *caractères différentiels du sang veineux* et du *sang artériel* (p. 496).

En étudiant l'action de la respiration sur le sang, nous avons examiné le *changement de coloration* que la respiration détermine dans ce liquide, et tâché de pénétrer le mécanisme de ce changement (p. 580 et suiv.). C'est surtout en traitant de la *nutrition* qu'il y aura lieu de s'occuper d'autres modifications que subit le sang, dans les divers points du trajet circulatoire, par suite de l'action prolongée de l'oxygène.

Enfin, dans notre précédente analyse des théories physico-chimiques des phénomènes respiratoires, a été signalé le *rôle des principaux éléments du sang dans l'absorption ou le dégagement des gaz de la respiration* (**).

Pour compléter l'histoire du sang, il reste à exposer les notions que la science possède sur la constitution physique, sur les caractères physiologiques de cet im-

(*) *Voir plus haut, p. 481 et suiv.*
(**) *Ibid., p. 592.*

portant fluide, puis à aborder l'examen de différentes questions intimement liées à une pareille étude.

Lorsque, chez un *animal vertébré*, on ouvre une veine ou une artère, il s'en écoule du *sang*, c'est-à-dire un liquide d'une couleur rouge brun ou rouge vermeil, d'une odeur caractéristique et différente suivant l'espèce animale, d'une saveur salée, un peu nauséeuse, et d'une réaction toujours alcaline.

On peut, dans l'état de vie, considérer le sang comme formé d'une portion fluide, le *plasma* (*liqueur du sang*), et d'une portion solide, elle-même composée d'une multitude de petits corps qui, nageant dans ce plasma, sont entraînés avec lui dans le torrent circulatoire.

Quant à la partie liquide du sang vivant, ou *plasma*, ici bornons-nous à rappeler qu'à l'aide de l'eau, elle tient en dissolution, ou bien en suspension, de nombreux éléments qui nous sont déjà connus, tels que : des substances albuminoïdes, grasses et sucrées ; — des matières extractives ; — de l'urée ; — des acides organiques en combinaison avec la soude ; — des gaz ; — de la soude libre ; — puis enfin des sels minéraux, la plupart essentiels à l'organisme et communiquant au sang des propriétés chimiques et organoleptiques particulières. (Voir plus haut, p. 483 et suiv.)

C'est de la partie solide du sang, c'est-à-dire de ses corpuscules microscopiques ou *globules*, que nous allons nous occuper tout d'abord.

I. — Les observations faites par Swammerdam (1), en 1658, sur les corpuscules du sang de grenouille, paraissent être le premier essai de l'*application du microscope* à l'étude de ce liquide. Le travail de Swammerdam n'était point encore publié, quand, en 1661, Malpighi (2) signala, dans le sang du hérisson, la présence de particules solides qu'il considéra comme formées de graisse. Douze ans après, Leeuwenhoek (3) fit paraître sur le même sujet des recherches plus précises et plus étendues qui marquent réellement une époque dans l'histoire physique du sang. Cet illustre observateur, portant à la fois ses investigations sur l'homme et sur beaucoup d'animaux, annonça que les innombrables corpuscules qu'on voit nager dans un fluide hyalin (le plasma) sont sphériques chez l'homme et les mammifères ; aussi leur réserva-t-il le nom de *globules*. Ni leur forme ovalaire chez les oiseaux, les reptiles et les poissons, ni la présence d'un noyau intérieur, n'échappèrent à son examen. Ultérieurement, Sénac (4) établit que, chez les mammifères, les corpuscules du sang sont lenticulaires ou aplatis au lieu d'être sphériques, comme l'avait cru Leeuwenhoek. Un peu plus tard, Muys (5) fit cette remarque importante que l'eau pure finit par dissoudre les globules sanguins des mammifères, remarque antérieure aux travaux de Hewson (6). Enfin, vers 1770, ce dernier expérimentateur publia sur les propriétés physiques du sang des observations nouvelles et pleines d'intérêt : il reconnut l'existence d'un noyau et d'une enveloppe, étudia les effets de

(1) *De sanguinis circuitu in rana adulta* (*Bibl. natur.*, 1738, t. II, p. 835).
(2) *Exercitatio de omento et adiposis ductibus*. Bologne, 1661, in-12. — *Oper. omn.*, t. II, Leyde, 1687, in-4.
(3) *Philos. Transact.*, 1674, p. 23. — *Opera omnia, seu arcana naturæ detecta*, t. I, passim ; t. II, p. 87, 88, 161 ; t. IV, p. 213, 225, epist. 128. Leyde, 1719 à 1722.
(4) *Traité de la structure du cœur*, 2e édit. Paris, 1777, t. II, p. 276.
(5) *Musculorum artificiosa fabrica*. Leyde, 1751, p. 300.
(6) *Philos. Transact.*, 1770 et 1773. — *Experim. Inquiries*, etc., part. III. Londres,

la dessiccation, des acides, des alcalis, sur la forme, le diamètre et la structure des corpuscules sanguins ; il fit voir aussi que l'eau les rend sphériques d'aplatis qu'ils étaient; enfin Hewson insista sur la nécessité d'employer du sérum ou de l'eau légèrement salée pour la dilution de la gouttelette de sang qu'on soumet à l'observation.

Comme résultats propres aux observateurs de la fin du siècle dernier, nous rappellerons aussi que Spallanzani (1), un des premiers, a constaté qu'il existe chez les salamandres, outre les corpuscules rouges ou elliptiques, d'autres corpuscules qui sont sphériques et blancs, et auxquels il assigne une origine lymphatique. Leur présence fut également reconnue par Hewson (2), qui les assimila aux noyaux des globules rouges. Mais cette particularité semblait à peu près oubliée, quand, de nos jours, Wedemeyer, et surtout J. Müller (3), vinrent la rappeler à l'attention des investigateurs. Depuis lors, ces globules blancs furent rapportés au moins à deux espèces, et retrouvés non-seulement dans le sang des grenouilles et des salamandres, mais encore dans celui de tous les animaux à vertèbres.

L'*étude microscopique* du sang tient aujourd'hui une place considérable dans l'histoire de ce fluide : des observateurs modernes en ont fait l'objet de nombreux travaux, auxquels nous aurons à emprunter surtout les résultats offrant de l'intérêt comme applications à la physiologie.

Cette étude devra porter successivement sur les globules du sang chez les vertébrés et les invertébrés.

A. — *Globules du sang chez les vertébrés.* — Si l'on dépose une goutte de sang sur une lame de verre, et si, sur cette goutte, on applique une autre lame de verre très-mince, on voit bientôt le liquide glisser entre ces deux lames; le microscope fait alors découvrir une quantité considérable de corpuscules ou globules, variables de couleur, de forme, de volume, et généralement divisés en *globules rouges*, *globules blancs* et *globulins*.

Globules rouges. — Les globules rouges du sang, incomparablement plus nombreux que les autres, constituent les globules proprement dits. C'est pour eux qu'ont été créées les différentes dénominations de lentilles rouges, particules rouges du sang (Sénac) (4); disques annulaires du sang (Della Torre) (5), hématies (Gruithuisen) (6), cellules colorées du sang (Schwann) (7), corpuscules colorés du sang (Henle) (8), etc. — Ce sont eux qui donnent au sang sa couleur rouge.

Chez l'homme, la *forme des globules rouges* du sang est celle de petits disques circulaires, aplatis, plus épais à leur bord qu'au centre, qui est déprimé. Suivant Mandl (9), l'épaisseur, du bord constituerait à peu près le quart ou le cinquième de la largeur du globule. Regardée tour à tour par les micrographes comme une saillie ou comme une dépression, la partie centrale, on le sait aujour-

(1) *Dell' azione del cuore ne' vasi sanguini nuove osservazioni.* Modena, 1768.
(2) *Works complete. Edited with an Introduction and Notes by Gulliver.* (Sydenham Soc. publ.) London, 1846, p. 82.
(3) *Journal de* POGGENDORF, 1832. — *Ann. des sciences nat.*, 2e série, 1834, t. I, p. 344.
(4) *Ouvr. cit.*
(5) *Nuovi osservazioni microscopiche.* Napoli, 1776.
(6) *Beiträge zur Physiognosie.*, etc. München, 1812, in-8, § 89, p. 62.
(7) *Mikroskopische Untersuchungen*, etc. Berlin, 1838, in-8.
(8) *Traité d'anat. générale*, t. I, p. 457, trad. de Jourdan, 1843.
(9) *Manuel d'anatomie générale, 1843, p. 247.*

d'hui, prend l'une ou l'autre de ces apparences, selon la manière dont elle est éclairée sur le porte-objet ; le résultat varie aussi suivant le moment où le globule est soumis à l'observation.

Dans les mammifères, les globules rouges ont la même forme que chez l'homme, comme l'ont prouvé de nombreuses recherches faites sur les animaux de cette classe. Cependant il y a, selon Mandl (1), une exception pour la famille des caméliens, où ces globules sont ovalaires ; observation confirmée par Milne Edwards, R. Owen, Gulliver, etc. — Chez les oiseaux, les reptiles et les poissons, la forme des précédents globules est elliptique : Wagner (2) et Wharton Jones (3) affirment en avoir trouvé d'à peu près circulaires dans quelques espèces inférieures de poissons.

S'il est admis que les globules rouges affectent toujours la même forme chez le même animal, il est également reconnu que, chez l'embryon, cette forme diffère de celle qu'on observe après la naissance. La plupart de ces globules, lors de la période embryonnaire, sont discoïdes et biconcaves ; quelques-uns sont sphériques, d'autres ovoïdes ; parfois on en trouve qui ont une disposition en bissac. Ch. Robin (4), qui a reproduit ces remarques chez des mammifères domestiques et des rats, fait aussi observer avec quelle facilité les globules du sang, à cette époque, se déforment par les pressions intra-vasculaires ; c'est en raison de leur élasticité qu'on les voit reprendre promptement leur forme primitive. Cette souplesse ou cette élasticité, déjà signalée par Leeuwenhoek, est d'ailleurs une propriété générale des globules à toutes les périodes de leur durée. Il faut mentionner encore, comme un de leurs caractères, la rapidité assez grande avec laquelle ils s'altèrent : sortis de l'organisme, ils se présentent bientôt comme plissés, avec une circonférence irrégulière, etc.

Un fait observé d'abord par Hewson (5), puis par Hodgkin et Lister (6) et par tous les micrographes contemporains, c'est la tendance qu'ont les globules rouges à se rapprocher les uns des autres comme des rouleaux de pièces de monnaie renversées. Cette disposition, très prononcée surtout dans le sang de l'homme, paraît ne pas exister chez les animaux dont les globules ont la forme elliptique. Ch. Robin (7), qui a dirigé particulièrement son attention sur ce phénomène, l'a attribué à l'*exsudation* d'une matière visqueuse qui se ferait à la surface des globules hors des vaisseaux ; il le regarde comme un commencement d'altération de ces petits corps.

La plupart des micrographes ont cherché à déterminer le *volume des globules rouges :* parmi les nombreuses évaluations qu'ils ont données, nous nous bornerons à mentionner celles qui paraissent se rapprocher le plus de la réalité.

Prévost et Dumas (8) ont mesuré, chez l'homme, le diamètre de ces globules, et

(1) *Ouvr. cit.*, p. 248.
(2) *Nachträge zur vergl. Physiol. des Blutes*, 1838, p. 13.
(3) *The Blood Corpuscles considered in its Different Phases of Development* (*Philos. Transact.*, 1846, p. 63).
(4) *Note sur quelques points de l'anat. et de la physiol. des globules rouges du sang* (*Journal de physiologie de l'homme et des animaux*, t. I, p. 283).
(5) *Ouvr. cit.*, p. 228.
(6) *Notice of Some Microscopic Observations of the Blood*, etc. (*Philos. Magazine*, 1827, t. V, p. 133).
(7) *Rec. cit.*, p. 295.
Annales de chimie et de physique, 1821, t. XVIII, p. 280.

l'ont estimé être de 1/130e de millimètre; Gulliver (1) l'a trouvé de 1/126e; Mandl (2) de 1/125e. Donné (3), qui l'évalue à 1/120e ou à 1/125e, attribue les variations dans les mesures des observateurs à la différence naturelle de dimensions des globules du même sang. Ch. Robin (4), qui accorde à leur diamètre 0mm,007, dit que l'épaisseur du globule est parfois au-dessous de 0mm,002, mais qu'elle ne dépasse pas normalement cette mesure. Enfin Milne Edwards (5), réunissant en un tableau les observations micrométriques faites sur différentes espèces d'animaux par Gulliver, R. Wagner, J. Davy, etc., et y ajoutant les siennes propres, a cherché à établir la *moyenne* des variations dans les individus d'une même classe. Il a trouvé ainsi que, chez les mammifères, la moyenne du diamètre fournie par toutes les mesures serait de 1/168e de millimètre, par conséquent plus petite que chez l'homme. Chez les oiseaux, dont les globules rouges ont une forme elliptique, le grand diamètre a en moyenne 1/70e, et le petit 1/163e de millimètre. Chez les reptiles, les moyennes augmentent un peu, ainsi que chez les poissons cartilagineux, mais elles atteignent le chiffre le plus élevé dans la classe des batraciens : de la grenouille au protée le grand diamètre s'élève de 1/43e à 1/16e de millimètre. Ces moyennes ne sauraient d'ailleurs avoir qu'une valeur approximative, attendu qu'elles reposent sur un nombre insuffisant d'observations.

Le volume des globules rouges est plus considérable dans l'embryon que chez l'animal adulte : Hewson, Prévost et Dumas, R. Wagner, Gulliver, J. Davy, etc., ont constaté ce fait chez la poule, la vipère, la chèvre, le lapin, le lézard, le chat, la chauve-souris, la grenouille, le squale. Bischoff (6) et Paget (7) ont reconnu ces mêmes différences chez l'homme; et Ch. Robin a trouvé que, dans l'embryon humain, tant que le corps n'a pas dépassé environ 25 millimètres, les globules rouges ont en général un diamètre de 11 millièmes de millimètre, et une épaisseur de 3 à 4 millièmes.

Il ne semble guère possible de tirer des conséquences physiologiques précises de la comparaison du volume des globules chez l'homme et chez les animaux. Il est pourtant permis de conclure d'abord qu'il n'y a aucun rapport absolu entre la taillé des espèces animales et la grandeur des globules de leur sang. De plus, avec Milne Edwards (8), nous ferons remarquer que, chez tous les animaux vertébrés, il y a une tendance à l'amoindrissement des globules sanguins à mesure que l'organisme se perfectionne, soit que ce perfectionnement s'effectue dans la constitution d'un même individu, par le progrès de son développement, soit qu'il se montre dans la série naturelle des espèces dérivées d'un même type zoologique. D'après le même observateur, il y aurait une relation intime entre le volume des globules sanguins et l'activité physiologique, en ce sens que généralement les globules les plus gros, et partant les moins nombreux sous un même volume, s'observeraient chez les animaux dont la respiration et la locomotion sont le moins actives, et réciproquement. Il existerait aussi une tendance à l'uniformité des globules dans les diverses espèces de beaucoup de groupes naturels.

(1) HEWSON'S *Works complete*. London, 1846.
(2) *Anat. microscop.*, 1838.
(3) *Cours de microscopie*, 1844, p. 62.
(4) *Mém. et Rec. cit.*
(5) *Leçons sur la physiol. et l'anat. comparée*, 1857, t. I, p. 83.
(6) *Traité du développement de l'homme et des mammifères*, trad. française, p. 284.
(7) *On the Blood Corpuscles of the Human Embryo* (*Lond. Med. Gaz.*, new Ser., 1849, t. VIII, p. 188).
(8) *Ouvr. cit.*, t. I, p. 55 et 60.

L'étude de la *structure des globules rouges* est, sans contredit, un des points les plus difficiles et les plus controversés de leur histoire. C'est ce qu'on pouvait déjà pressentir, en jetant un coup d'œil sur les dénominations variées par lesquelles les auteurs ont désigné ces éléments du sang. Une vésicule ou cellule pourvue ou non d'un noyau, telle est l'idée générale à laquelle se sont arrêtés un grand nombre de micrographes. Déjà Leeuwenhoek et Hewson (1) avaient signalé la présence d'un *noyau* dans les globules du sang de la grenouille; plus tard, le même fait fut reconnu par J. Müller (2), Henle (3), etc.; Donné (4) a cherché à en fournir une démonstration expérimentale qui l'a amené à admettre l'existence d'une enveloppe et d'un noyau. Ajoutons toutefois que certains auteurs, tels que R. Wagner (5), Valentin (6), Mandl (7), Moleschott (8), Donders (9), etc., pensent que ce noyau central, chez les grenouilles, est le résultat d'une sorte de coagulation intérieure des éléments globulaires du sang sorti de ses vaisseaux. Au contraire, d'autres affirment avoir constaté la présence d'un noyau sur des globules circulant dans les capillaires de la membrane interdigitale de jeunes grenouilles. Examiné au sein du globule, le noyau semble se déplacer et venir s'attacher à un point de ses parois. On obtient facilement ce dernier effet quand on a ajouté une goutte d'eau au sang, ce qui change bientôt aussi la forme des globules : d'elliptiques qu'ils étaient, ils deviennent sphériques, par suite d'un gonflement dû à la présence de l'eau. — L'existence d'un noyau est également admise pour les globules rouges du sang des autres reptiles comme pour ceux des oiseaux et des poissons.

Chez l'homme et les mammifères *adultes*, le globule sanguin paraît dépourvu de noyau; et il n'y a pas d'exception même pour la famille des caméliens, qui, par la forme de ses globules, se rapproche des animaux chez lesquels l'existence d'un noyau n'est pas douteuse. Ce qu'on avait pu prendre d'abord pour un noyau n'est que la partie centrale du globule qui, plus brillante et plus mince, tranche brusquement avec son contour plus épais et plus sombre. Cette remarque, déjà faite par Hodgkin et Lister, a été confirmée par Henle, Donné, Wharton Jones, etc. Cependant divers micrographes admettent que parfois, parmi les globules ordinairement sans noyau, on en rencontre qui paraissent nucléolés : cela du moins résulterait des observations faites par Wharton Jones, Schultz (10) H. Nasse (11) et Busk (12), chez l'homme et plusieurs mammifères. Kölliker (13), qui croit devoir nier ces observations comme inexactes, affirme être arrivé à des résultats tout à fait opposés.

Il existe, au contraire, un noyau dans le globule sanguin, chez l'*embryon* de l'homme et des mammifères, comme chez les autres vertébrés (Paget, Kölliker, etc.).

(1) *Ouvr. cités.*
(2) *Manuel de physiologie*, trad. franç., 2e édit., t. I, p. 91. Paris, 1851.
(3) *Anat. générale*, p. 464 (*Encyclop. anat.*, t. VI), trad. franç. de Jourdan.
(4) *Ouvr. cit.*
(5) *Nachträge zur vergleichenden Physiol. des Blutes*, 1838, p. 14.
(6) *Repertorium*, 1837, t. II, p. 185.
(7) *Ouvr. cit.*
(8) *Ueber die Entwickelung der Blutkörperchen* (MÜLLER'S *Archiv*, 1853, p. 73.
(9) *Holland. Beitr. zu. den Anat. und Physiol.*, 1848, p. 360.
(10) MÜLLER'S *Archiv für Anat. und Physiol.*, 1839, p. 252.
(11) WAGNER'S *Handwörterbuch der Physiol.*, t. II, p. 90.
(12) *Quarterly Journal of Microscopical Science*, 1852, t. I, p. 145.
(13) *Mikroscopische Anat.*, t. II, p. 583.

Selon Ch. Robin (1), presque tous les globules rouges présentent un noyau, depuis leur première apparition jusqu'au moment où l'embryon humain atteint la longueur de 25 à 30 millimètres. A partir de cette époque, le nombre des globules pourvus de noyau irait en diminuant, et l'on n'en trouverait plus après le quatrième mois de la vie intra-utérine. Dans l'état embryonnaire, le noyau est sphérique, bien limité, large de 3 à 4 millièmes de millimètre ; il occupe le plus souvent le centre et quelquefois un des côtés du globule.

D'après ce qui précède, l'existence d'un noyau dans les globules sanguins semblerait donc constituer un caractère d'infériorité physiologique.

Pour s'éclairer sur la question de la structure des globules, les micrographes se sont souvent aidés du secours des agents chimiques. Il nous suffira de mentionner les principaux faits qui résultent de ce mode d'investigation. — L'*acide acétique*, étendu, attaque les globules à l'exception du noyau, il dissout et fait disparaître leur partie périphérique (Milne Edwards, J. Müller, Donné, etc.). — Les *alcalis* dissolvent rapidement et à la fois enveloppe et noyau. — Quand, par l'action de l'*eau*, les globules, devenus de plus en plus transparents, semblent réduits à leur noyau, l'addition de la *teinture d'iode* les rend visibles de nouveau, et ils présentent l'apparence d'une vésicule colorée. Cette expérience, instituée par C. H. Schultz (2), sur le sang des grenouilles, conduit à la même conclusion que les précédentes. — Simon (3), en étudiant l'action de la *bile*, a reconnu, comme l'avait déjà fait Hünefeld, que ce liquide dissout instantanément les globules, propriété qu'il doit au principe que les chimistes désignent sous le nom de *biline* (cholate et choléate de soude). Mise en présence des globules, la biline leur fait perdre immédiatement leur enveloppe ; puis leurs noyaux se gonflent, deviennent de plus en plus transparents et ne tardent pas à se réduire en un certain nombre de particules sphériques. — Les observateurs ont aussi démontré que l'*éther sulfurique* détruit les globules ; les noyaux restent intacts et visibles pendant longtemps, si l'on agit sur du sang de grenouille par exemple. — L'*alcool* faible n'altère point les globules et les *sels neutres* ne les dissolvent pas. Dumas (4), Bonnet (5) ont fait aussi quelques expériences sur l'action de certains sels et d'autres substances. R. Owen (6), Martin Barry (7) et Mayer, etc. (8) en ont tenté d'analogues dans le but de s'éclairer sur la nature des noyaux.

Faut-il admettre que les globules rouges sont des vésicules remplies d'un fluide et logeant la matière colorante ? J. Müller (9) notamment n'hésite pas à penser que la matière colorante liquide forme le contenu des enveloppes incolores propres à ces globules. Pour d'autres observateurs, le globule sanguin serait constitué par de la *globuline* (*), unie molécule à molécule à la matière colorante du sang (*héma-*

(1) *Rec. et Mém. cit.*, p. 287.
(2) *Das System der Circulation*, etc. Stuttgart, 1836, in-8, p. 19, tab. 1.
(3) *Animal Chemestry*, t. I, p. 111.
(4) *Recherches sur le sang* (*Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences de Paris*, 1846, t. XXII, p. 900).
(5) *Gazette médicale*, 1846, p. 668.
(6) *On the Blood Disks of Siren Lacertina* (*Microscop. Journ.*, 1842, vol. II, p. 73).
(7) *On the Corpuscles of the Blood* (*Philos. Transact.*, 1840-41).
(8) *Das Phänomen der Dotterfurchung an den Blutsphären* (FROREP'S *Neue Notizen*, 1846).
(9) *Manuel de physiologie*, t. I, trad. franç., p. 97.

(*) La *globuline* semble n'être autre chose qu'une combinaison encore assez peu connue d'albumine et de fibrine. Insoluble dans le sérum ou dans la dissolution de certains sels, elle ne se rencontre que dans les globules sanguins.

tosine et à quelques sels et matières grasses, sans qu'il soit possible de démontrer qu'une enveloppe vésiculaire existe pour renfermer ces derniers principes. — De pareilles dissidences tendent à prouver que le problème concernant la structure des globules rouges n'est pas encore résolu. Toutefois l'existence d'une membrane utriculaire pour ces corpuscules paraît probable : d'une part, on les gonfle en ajoutant un peu d'eau au sérum, et, d'autre part, surtout l'addition de la teinture d'iode, en les colorant en jaune, leur donne toute l'apparence d'une cellule qui serait pourvue d'une membrane enveloppante élastique.

S'il y a des doutes sur la structure de la portion périphérique des globules rouges, on n'est guère mieux fixé sur la constitution des nucléoles eux-mêmes. L'hématosine leur paraît étrangère. Aux yeux de quelques micrographes, chaque nucléole serait composé d'un certain nombre de particules ou granules sphériques contenus eux-mêmes dans une capsule spéciale.

Globules blancs. — C'est à J. Müller (1), Mandl (2) et Donné (3) que l'on doit les premières notions précises sur les globules blancs du sang. De nouvelles recherches sont venues donner à l'étude de ces éléments une importance qu'on ne saurait méconnaître aujourd'hui.

Les globules blancs, appelés aussi *globules plasmiques*, *fibrineux*, *lymphatiques*, ont pour caractère, qui les différencie tout d'abord des globules rouges, de ne pas appartenir exclusivement, comme ces derniers, au liquide sanguin. On les rencontre, dit Ch. Robin (4), dans divers fluides de l'organisme : dans la lymphe, le chyle, le liquide prostatique, le sperme, le colostrum, les liquides allantoïdien et amniotique, céphalo-rachidien, la synovie, et dans tous les liquides qui se forment à la surface des muqueuses enflammées. Cet observateur, qui les a étudiés à ce point de vue général, fait remarquer qu'ils constituent presque à eux seuls l'élément principal dans le sérum du *pus* et la sérosité des vésicatoires, et que c'est à leur présence dans le *mucus* que les produits des muqueuses enflammées doivent leur teinte jaunâtre, etc. Enfin on les trouverait aussi dans la trame de certains tissus accidentels tels que : le tubercule anatomique, diverses tumeurs gélatiniformes du sein, les épithéliomas des muqueuses et de la peau. Il y aurait une identité parfaite entre ces globules, qu'on les étudie dans le pus, le sang ou la lymphe ; ce seraient toujours des éléments anatomiques de la même espèce.

Les globules blancs du sang, infiniment moins nombreux que les rouges (pour 400 globules rouges on trouve environ un globule blanc dans le sang normal), ont une *forme sphérique*, avec un bord net et une surface unie. Cette forme n'est pourtant pas toujours celle que présentent ces globules : peu de temps après que le sang a quitté les vaisseaux, elle est parfois irrégulière, mais cette irrégularité n'est que passagère. Au bout d'un certain temps, le globule reprend sa forme caractéristique, et ce n'est qu'exceptionnellement qu'on en voit un petit nombre continuer à se montrer plus ou moins allongés et irrégulièrement sphériques.

Ce fait n'a pas manqué de frapper l'attention des micrographes. Wharton Jones (5) signala les déformations des globules blancs dans le sang de la raie, de la

(1) *Annales des sciences naturelles*, 2e série, 1834, t. I, p. 344.
(2) *Ouvr. cit.*
(3) *Cours de microscopie*, 1844, p. 81.
(4) *Sur quelques points de l'anat. et de la physiol. des leucocytes ou globules blancs du sang* (*Journal de physiologie de l'homme et des animaux*, 1859, p. 41).
(5) *The Blood Corpuscles considered, in its Different Phases of Development* (*Philos. Transact.*, 1846).

grenouille et de l'homme. Davaine (1) fit remarquer que, dans la gouttelette de sang soumise au microscope, les globules blancs restent fixés à la lame de verre, puis bientôt perdent leur forme arrondie : des points de leur circonférence partent des expansions transparentes et leur intérieur semble se creuser de vacuoles. Ces changements de forme, qui se succèdent sous l'œil de l'observateur, ont été comparés aux phénomènes de contractilité signalés par Dujardin (2) dans le sarcode des rhizopodes. D'un autre côté, N. Lieberkühn (3) a pensé ne voir dans ces corpuscules que des animalcules parasites, des amibes, sorte d'infusoires qu'on rencontre souvent dans les eaux stagnantes et les intestins de quelques animaux.

Plus volumineux que les globules rouges, les globules blancs de l'homme ont, suivant Donné, un diamètre de 1/100e de millimètre environ. Ils sont un peu plus gros chez les batraciens et les poissons. Du reste, Gulliver (4) a observé qu'ils ne varient pas beaucoup de volume chez les différents mammifères.

L'action de l'eau et de l'acide acétique tend à dévoiler une *structure celluleuse* dans les globules blancs : l'eau les gonfle, ne les déforme point et ne les dissout que lentement ; l'acide acétique les contracte sans les dissoudre et y fait apparaître un certain nombre de noyaux. Wharton Jones (5) distingue, dans les globules blancs, deux sortes de corpuscules, savoir : des *cellules granulées* et des *cellules nucléolées* incolores. Ch. Robin (6) admet les deux variétés de cellules, l'une à noyaux et l'autre sans noyaux, selon que l'action de l'eau ou de l'acide acétique en a ou non déterminé l'apparition.

La *pesanteur spécifique* des globules blancs est moindre que celle des globules rouges. Examinant le sang défibriné et abandonné au repos, Donné (7) vit le liquide se séparer en deux couches principales : l'une supérieure, formée par le sérum ; l'autre inférieure, occupée par les globules rouges. Entre ces deux couches, existait une sorte de pellicule très mince due à la présence des globules blancs.

En faisant usage de la méthode de Vierordt (8), perfectionnée par Welcker (9), c'est-à-dire en comptant les globules sur un micromètre quadrillé, Marfels (10) et Hirt (11) ont reconnu qu'après les repas les globules blancs deviennent beaucoup plus nombreux relativement aux globules rouges. Nous aurons à rechercher plus tard la cause de ce phénomène.

C'est le lieu de rappeler aussi que plusieurs micrographes, tels que Virchow (12), H. Gray (13), etc., ont signalé particulièrement la grande abondance des globules blancs dans le sang de la rate. — Dans certains états pathologiques, ces globules se présentent en si grande quantité, que le sang peut paraître laiteux. C'est à ces cas que l'on a donné le nom de *leukémie* ou *leucocythémie* (*) ; ils ont été observés,

(1) *Recherches sur les globules blancs du sang* (*Mémoires de la Société de biologie*, 1850, t. II, p. 103).
(2) *Annales des sciences naturelles*, 1835, 2e série, t. IV, p. 343.
(3) *Ueber Psorospermien* (MÜLLER'S *Archiv fur Anat. und Physiol.*, 1854, p. 111).
(4) HEWSON'S *Works ; Notes by* GULLIVER, p. 243.
(5) *Philos. Transact.*, 1846, p. 71.
(6) *Mém. et Rec. cit.*
(7) *Ouvr. cit.*, p. 84.
(8) *Archiv für physiol. Heilkunde*, 1852, t. XI, p. 26.
(9) *Archiv des Vereins*, etc. Gœttingen, 1854, t. I, p. 161.
(10) *Untersuch. zur Naturlehre*, etc., von MOLESCHOTT, 1856, t. I, p. 61.
(11) J. MÜLLER'S *Archiv*, etc., 1856, p. 174.
(12) *Gesamm. Abhandl. zur wissensch. Med.*, 1855, t. I, p. 149.
(13) *On the Structure and Use of the Spleen*. London, 1854.
(*) De λευκὸς, blanc ; κύτος, cavité, et αἷμα, sang.

pour la première fois, par Bennett (1) et Virchow (2). Depuis lors, les pathologistes ont multiplié leurs recherches sur cette singulière altération du sang qu'on rencontre surtout chez des individus atteints d'hypertrophie de la rate ou des ganglions lymphatiques.

Quant à l'origine des globules incolores, à leur développement, au rôle qu'ils remplissent vis-à-vis des globules rouges, nous nous en occuperons seulement à propos de la formation du sang.

Globulins. — Décrits par J. Müller (3) sous le nom de *granules lymphatiques*, ces corpuscules du sang se présentent sous forme de petits noyaux sphériques, peu nombreux, tantôt isolés, tantôt agglomérés irrégulièrement. Donné (4) estime que leur diamètre n'a pas plus de 1/300e de millimètre environ. On les considère généralement comme appartenant au chyle et comme étant versés par le canal thoracique dans le fluide sanguin ; Kölliker (5), qui partage cette manière de voir, les appelle *granules élémentaires*. — Ajoutons qu'une troisième espèce de globules incolores a été signalée par Moleschott et Donders (6).

B. — *Globules du sang chez les invertébrés.* — Le sang des animaux invertébrés renferme aussi des corpuscules dont les micrographes se sont efforcés de déterminer la nature et les caractères. Leurs recherches, qui se sont étendues à différentes classes de cette grande division du règne animal, ont enrichi la science d'un certain nombre de faits importants et propres à intéresser le physiologiste. Il n'est d'ailleurs pas besoin de faire remarquer toutes les difficultés qu'on a dû éprouver pour obtenir des notions précises sur un sujet dont l'étude est si minutieuse et si délicate.

On a contesté, pendant longtemps, la présence de *véritables globules* dans le sang des invertébrés : aujourd'hui les travaux de R. Wagner (7), Wharton Jones (8), Williams (9), Lebert et Ch. Robin (10), Rouget (11), etc., ne laissent aucun doute sur la réalité de leur existence. On a coutume de regarder ces globules comme les analogues des globules blancs des vertébrés; et récemment Davaine (12) s'est encore appliqué à faire admettre cette analogie en avançant que ses observations et ses expériences l'avaient amené à ne considérer, dans le sang des animaux, que deux sortes de globules : 1° les *globules blancs*, qui sont communs aux vertébrés et aux invertébrés; 2° les *globules rouges* qui existent chez les vertébrés, mais qui n'ont point d'analogues chez les invertébrés. — Après avoir exposé les principaux traits de l'histoire de ces corpuscules, nous dirons ce qu'il faut penser de cette manière de voir et des conséquences qu'on a voulu en déduire.

La *forme* des globules du sang varie dans les différentes espèces d'invertébrés;

(1) *Leucocythemia, or white Cells Blood*, etc. Edinburgh, 1852.
(2) *Loc. cit.*
(3) *Annales des sciences nat.*, 2e série, 1834, t. I, p. 344.
(4) *Ouvr. cit.*, p. 85.
(5) *Mikroscopische Anat.*, t. II, p. 575.
(6) *Untersuchungen über die Blutkörperchen* (*Holländische Beitr. zu den anat. and physiol. Wissenschaften*, 1848).
(7) *Zur vergleichenden Physiologie des Blutes*, 1833.
(8) *Ouvr. cit.*, Mém. 2, *Invertebrata*.
(9) *On the Blood Proper and Chylaqueous Fluid of Invertebrate Animals* (*Philos. Transact.*, 1852, p. 595).
(10) MÜLLER'S *Archiv*, 1846.
(11) *Sur l'existence de globules du sang colorés chez plusieurs espèces d'animaux invertébrés* (*Journal de physiologie de l'homme et des animaux*, 1859, t. II, p. 660).
(12) *Comptes rendus de la Société de biologie*, 1855, p. 56.

elle varie parfois chez le même animal. Ils sont en général circulaires et plus ou moins aplatis chez les mollusques; ils sont fusiformes, plus ou moins déprimés, chez les insectes; ovoïdes ou sphériques chez les crustacés et les arachnides, etc.

Ce qui a été dit plus haut de la déformation des globules blancs des vertébrés paraît s'appliquer aux globules incolores d'un grand nombre de mollusques et d'articulés. Lebert et Ch. Robin, Wharton Jones, Williams, Davaine, etc., ont observé avec soin ce phénomène qui a dû prendre une certaine importance aux yeux de ceux qui font des globules incolores des invertébrés les analogues des globules blancs des vertébrés.

Chez la plupart des invertébrés, le *volume* des globules l'emporte sur celui des globules de l'homme. Toutefois ce volume est variable dans les globules d'une même goutte de sang chez les mollusques, les arachnides, les crustacés, etc. Aussi toute évaluation précise de diamètre est-elle, par là, rendue très-difficile. On donne aux globules de l'écrevisse un diamètre de $0^{mm},005$ à $0^{mm},007$. Ch. Rouget (1), ayant mesuré les globules incolores de certaines espèces d'ascidies, leur a trouvé $0^{mm},010$ de diamètre en moyenne; le même observateur a trouvé, chez les synaptes, de $0^{mm},008$ à $0^{mm},013$ de diamètre. Chez les molluscoïdes, on en voit, dit Milne Edwards (2), de toutes les grandeurs, depuis $1/400^e$ jusqu'à $1/75^e$ de millimètre. Ajoutons, d'après la remarque de cet auteur, que, dans l'embranchement des mollusques, les globules sont d'autant plus nombreux que les animaux sont plus parfaits : rares chez les bryozoaires, ils abondent dans la classe des céphalopodes.

Quant à leur *structure*, les globules sanguins des invertébrés sont, les uns granuleux et privés de noyaux, tandis que les autres, également granuleux, offrent un ou plusieurs noyaux. Williams (3) a bien décrit les globules des mollusques, et notamment ceux des céphalopodes, qui, d'après lui, ont la structure la plus parfaite. Dans cette classe, les globules ont presque toujours un noyau qui, parfois périphérique, est le plus souvent central. Autour du noyau, est répandu un liquide qui, renfermant une foule de petits granules, semble remplir une enveloppe utriculaire. On rencontre néanmoins quelques globules sans noyau ni granules; mais entre ces deux extrêmes, il existe de nombreux intermédiaires. Chez les insectes, les globules ont un noyau distinct et des granules; on peut en dire autant des arachnides et des crustacés. Toutefois, dans ces derniers, quelques globules sont pourvus d'un noyau seulement. Les zoophytes ont des globules analogues à ceux des autres invertébrés. — Nous ne saurions nous étendre davantage sur ce point, bien étudié surtout par Bowerbank (4), R. Wagner (5), Newport (6), Wharton Jones (7), Williams (8), etc.

Le sang, qui charrie les précédents globules, porte communément le nom impropre de *sang blanc;* et il est, en effet, réputé ne contenir aucun corpuscule analogue aux corpuscules colorés du sang des vertébrés. Milne Edwards (9) a considéré ce

(1) *Mém. et Rec. cit.*
(2) *Ouvr. cit.*, t. I, p. 92.
(3) *Rec. cit.*, p. 648.
(4) *Observ. on the Circul. of the Blood in Insects* (*Entomological Magaz.*, vol. I, 1833).
(5) MÜLLER'S *Archiv*, 1835. — *Vergl. Physiol. des Blutes*, t. I, p. 29.
(6) *On the Structure and Development of the Blood* (*Annals of Nat. Hist.*, 1849, vol. XV).
(7) *Ouvr. et Rec. cit.*
(8) *Philos. Trans.*, 1852.
(9) *Leçons sur la physiol. et l'anat. comp., etc.* Paris, 1857, t. I, p. 113 et 114.

caractère comme tellement général, qu'il a cru pouvoir en faire, entre les vertébrés et les invertébrés, un moyen distinctif aussi tranché que celui qui résulte de la présence ou de l'absence d'une colonne vertébrale. — Quant aux diverses colorations, jaune, bleue, verte ou rougeâtre du sang des invertébrés, elles ne seraient dues, d'après cet observateur, qu'à la teinte particulière du plasma, et non à l'existence de globules hématiques. Les globules rouges, discoïdes et nageant dans un liquide incolore, signalés par de Quatrefages (1) chez une espèce de glycère, n'appartiendraient point, selon Williams (2), au liquide des vaisseaux sanguins, mais à celui de la *cavité générale du corps;* et Milne Edwards (3), partageant cette manière de voir, fait observer que la description des globules du sang rouge des annélides, donnée par R. Wagner, Wharton Jones et quelques autres, s'applique en réalité, non pas au sang des vaisseaux, mais au *liquide cavitaire* (*). De Quatrefages (4) a reconnu, chez des vers voisins des térébelles, que ce dernier liquide charrie des globules rouges, et Williams (5) a rencontré aussi un grand nombre de ces globules dans le liquide cavitaire du *Glycera alba*, tandis que le sang des vaisseaux de cet annélide lui a paru faiblement rougeâtre et d'ailleurs dépourvu de globules colorés.

D'un autre côté, nous rappellerons que Doyère (6) a constaté dans le sang d'un tardigrade (*Emydium testudo*) l'existence de globules colorés en rouge brun, et aussi que, dans le sang des céphalopodes, R. Wagner (7) et Williams (8) ont observé des globules violets ou bleuâtres. A ces faits, dont on ne saurait nier la valeur, il faut aujourd'hui en joindre de plus nombreux et de plus concluants qui viennent constituer des exceptions tranchées à la loi formulée plus haut. Des observations, faites avec le plus grand soin par Ch. Rouget (9) sur plusieurs espèces de molluscoïdes et de radiaires, établissent que le sang d'un assez grand nombre de ces invertébrés, est coloré et que cette coloration est spécialement due, non pas au plasma, mais à des corpuscules colorés qui, dans quelques cas, possèdent, indépendamment de la teinte, les caractères histologiques essentiels des globules hématiques, c'est-à-dire des globules rouges du sang des vertébrés. C'est chez les *siponcles* surtout que Rouget a trouvé les faits de ce genre les mieux caractérisés. « Lorsque, dit-il, à l'aide de faibles grossissements (50 à 100 diam.), on examine la circulation dans les tentacules qui entourent l'orifice buccal du *Siponcle oxyure*, il semble qu'on ait sous les yeux une houppe branchiale d'un têtard de batracien : des *globules rouges* vésiculeux, la plupart très régulièrement ovalaires ou arrondis, circulent avec rapidité, et tellement pressés les uns contre les autres, qu'ils semblent constituer toute la masse du sang, bien qu'en

(1) *Mémoire sur la circulation des Annélides* (*Ann. des sc. nat.*, 1850, t. XIV, p. 288).
(2) *Philos. Trans.*, 1852, p. 632.
(3) *Ouvr. cit.*, t. I, p. 109. Paris, 1857.

(*) C'est encore une question de savoir si le *liquide cavitaire*, qui contient parfois des globules rouges et de forme discoïde, ne doit pas être assimilé au sang proprement dit, ou tout au moins au sang veineux (Rouget). On lui accorde pourtant le rôle le plus important dans le travail nutritif.— Relativement au fluide nourricier général ou cavitaire des annélides, consultez les intéressants mémoires de QUATREFAGES (*Ann. des sc. nat.*, 3e série, 1846, t. V, p. 280; — *Ibid.*, 3e série, 1850, t. XIV, p. 309).

(4) *Ann. des sc. nat.*, 3e série, t. XIV, p. 311.
(5) *Rec. cit.*
(6) *Mémoires sur les Tardigrades* (*Ann. des sc. nat.*, 2e série, t. XIV, 1844).
(7) LEYDIG, *Lehrbuch der Histologie*, 1857, p. 451.
(8) *Mém. et Rec. cit.*
(9) *Mém. et Rec. cit.*

réalité ils nagent dans un *sérum incolore*. Le sang contenu dans le cœur et les tentacules ne renferme pas d'autres éléments que ces globules arrondis, ovalaires, et quelquefois fusiformes. Dans tous on aperçoit un point brillant, très réfringent; mais le noyau, qui existe toujours, n'est parfois visible qu'après l'action de l'eau ou des réactifs. Une membrane élastique, épaisse, à double contour, constitue l'enveloppe de ces globules, et renferme une substance d'un rouge rosé, transparente, homogène, très réfringente, à laquelle le globule doit sa coloration. »

Des faits qui précèdent et qui paraissent devoir se multiplier, Rouget conclut, avec raison, que la présence ou l'absence de *globules colorés dans le sang* n'est pas en relation nécessaire avec la place qu'un animal occupe dans l'une des deux grandes divisions zoologiques, et qu'il y a lieu de rechercher, dans les conditions de l'organisation de telle ou telle espèce, la raison de l'existence d'éléments colorés ou incolores dans le sang.

II. — Les particules solides ou globules du sang viennent d'être examinés sous le rapport de leurs *caractères physiques*. Précédemment, leur *composition chimique* a été indiquée (p. 485 et suiv.). Quant à l'étude de leur *rôle physiologique*, déjà faite, en partie, à propos de la respiration (p. 583), elle sera complétée ultérieurement. Il nous faudra aussi revenir sur les globules, en parlant de la formation du sang.

Maintenant la partie fluide du sang (*plasma*, *liquor sanguinis*), dans laquelle nagent les globules, doit fixer un moment notre attention.

Évidemment le *plasma*, sérum du sang en circulation, ne doit pas être confondu avec le *sérum* qui entoure le caillot d'une saignée: ce dernier liquide n'est qu'une eau chargée d'albumine et de sels, tandis que le *plasma* contient en outre de la fibrine qui, dissoute dans le sang vivant, se coagule après la mort. Rappelons que, quand on bat du sang avec une verge, à la sortie des vaisseaux, on prive le *plasma* de sa fibrine, qui, en se solidifiant, emprisonne un certain nombre de globules, et qu'alors il ne reste plus, par conséquent, que du *sérum* tenant en suspension la plupart des globules sanguins.

Nous avons vu que, chez les vertébrés, la couleur rouge du sang est due aux globules charriés par ce fluide; aussi le plasma de ces animaux est-il presque incolore ou légèrement jaunâtre. Il n'en est pas de même chez beaucoup d'invertébrés qui ont au contraire un plasma coloré en rouge, en jaune foncé, en vert, en rose, en bleu, etc., sans que les globules jouent dans ces diverses colorations aucun rôle essentiel : en d'autres termes, ici la matière colorante, que peut influencer la nature de l'alimentation, est généralement en dissolution dans le plasma lui-même, au lieu d'être incorporée avec des globules hématiques. Toutefois on vient de voir que, d'après Doyère, R. Wagner, Williams, et surtout Ch. Rouget, la coloration du sang d'un certain nombre d'animaux inférieurs peut aussi être spécialement due, non pas au plasma, mais à des corpuscules colorés analogues aux globules hématiques du sang des vertébrés. Nous avons dit que les observations de Rouget ont porté à la fois sur le fluide nourricier général ou cavitaire et sur le sang des vaisseaux mêmes de plusieurs espèces de molluscoïdes et de radiaires.

C'est dans le plasma, ou partie liquide du sang vivant, que sont tenus en dissolution ou bien en suspension de nombreux éléments qui nous sont déjà connus, tels que : des sels minéraux, la plupart essentiels à l'organisme ou nécessaires à l'intégrité des globules; de la soude libre; des gaz; des acides organiques en com

binaison avec la soude; de l'urée; des matières extractives, et enfin des substances albuminoïdes, grasses et sucrées (*). Parmi les substances albuminoïdes, il en est une, l'albumine, à la présence de laquelle le plasma doit sa coagulabilité par la chaleur, et une autre, la *fibrine*, qui, sous l'influence de la vie, se présente sous la forme fluide, mais qui, abandonnée à elle-même, devient insoluble et se coagule spontanément. Nous sommes ainsi amené à nous occuper d'un phénomène connu de tout temps, si ce n'est dans son essence, du moins dans ses effets: nous voulons parler de la *coagulation du sang*.

III. — Le sang recueilli dans un vase et abandonné à lui-même, conserve quelque temps encore, après qu'il est sorti des vaisseaux, sa couleur, sa fluidité et son aspect homogène. Puis il s'épaissit peu à peu, se prend en une masse molle et tremblante, qui remplit d'abord tout l'espace occupé par le liquide. Bientôt cette masse se rétracte, se couvre de quelques gouttes d'un liquide jaunâtre, et, par suite du mouvement de retrait qui se prononce de plus en plus, elle finit par abandonner les parois du vase, en laissant échapper de son intérieur un liquide semblable à celui qui avait paru tout d'abord à la surface. La masse ainsi coagulée a donc diminué de volume et augmenté en consistance, tandis que le liquide qui en a été exprimé est devenu de plus en plus abondant. Le sang se trouve dès lors séparé en deux parties : l'une solide, qu'on nomme *caillot* ou *cruor;* l'autre liquide, qu'on appelle *sérum* et où la première nage plus ou moins complétement.

La *coagulation du sang* commence, en général, quatre à cinq minutes après que ce fluide est hors de ses vaisseaux : rarement elle met une demi-heure ou une heure à se montrer. Le temps nécessaire pour qu'elle s'effectue *entièrement* est d'ailleurs variable depuis quelques heures jusqu'à un jour. D'après Nasse (1), la coagulation commencerait, terme moyen, au bout de trois minutes environ chez la femme et de quatre chez l'homme. On admet généralement que le sang artériel se coagule plus rapidement que le sang veineux, le sang de certaines veines plus vite que celui des autres. — Ajoutons que la coagulation n'est pas également prompte dans le sang des divers animaux : elle arrive plus tôt chez les oiseaux et la plupart des mammifères que chez l'homme ; elle est sensiblement plus lente chez les reptiles. Dans les invertébrés, la coagulation, quoique souvent rapide, est en général imparfaite ou obscure. Les observations indiquant ces différences, et relatées dans les ouvrages de Blundell (2), Thackrah (3), Fiedler (4), Carus (5), etc., sont trop peu nombreuses pour qu'on puisse en tirer des inductions de quelque intérêt.

C'est surtout à des observateurs du siècle dernier qu'il faut rapporter les premières études véritablement importantes sur la coagulation du sang : les travaux de Davies (6), Hewson (7), J. Hunter (8), entre autres, renferment déjà une grande partie des notions à l'aide desquelles on a cherché de nos jours à se rendre

(*) Voir plus haut, p. 483 et suiv.

(1) Dans WAGNER'S *Handwörterbuch der Physiol.*, 1842, t. I, art. SANG.

(2) *Physiological and Pathological Researches*, p. 130.

(3) *Inquiry into the Nature and Properties of Blood*, 1819, p. 19 et suiv.

(4) *Dissertatio de columbarum sanguine*. Berlin, 1824, in-8.

(5) *Von den äussern Lebensbedingungen*, p. 86.

(6) *Essays to promote the Experimental Analysis of Human Blood*. Bath, 1760.

(7) HEWSON'S *Works on Blood*, etc., édit. de GULLIVER. London, 1846. — Et *Philos. Transact.*, 1770-1773.

(8) *Treatise on the Blood Inflammation*, etc. London, 1794.

compte de ce singulier phénomène. On connaît aussi les expériences plus récentes de J. Davy (1), de Schrœder Van der Kolk (2), de Scudamore (3), de Denis (4), de J. Müller (5), etc. C'est principalement à ces auteurs, de diverses époques, qu'il y a lieu d'emprunter ce qu'on sait de plus précis sur la coagulation du sang.

Le premier effet de la coagulation, nous l'avons dit, est la séparation spontanée du sang en une partie solide (caillot) et une autre liquide (sérum). Cette séparation, tout accidentelle et mécanique en quelque sorte, est le caractère saillant du phénomène et lui appartient en propre. Elle diffère d'ailleurs de la division naturelle, admise plus haut, du sang vivant en *plasma* et en *globules ;* et déjà, en effet, nous connaissons la notable différence qui existe entre le *sérum* du sang mort et le plasma, entre un simple amas de globules et le *caillot.*

Le *sérum* du sang des vertébrés est un liquide limpide, doué d'une odeur fade et d'une saveur salée; il est visqueux au toucher, et sa couleur est d'un jaune verdâtre. Accidentellement, il peut présenter une légère teinte rougeâtre ou laiteuse. Plus léger que le sang entier, il a une pesanteur spécifique qui a été diversement évaluée par les auteurs : Thackrah (6) a trouvé, pour les deux extrêmes, 1004 et 1080; Becquerel et Rodier (7) ont donné, en moyenne, pour l'homme 1028, et pour la femme 1027,4 ; chiffres conformes à ceux qu'avait indiqués déjà Berzelius (8). Rappelons encore que le sérum renferme les éléments qui se trouvent en dissolution dans le plasma, moins la fibrine.

Le *caillot*, dont la surface est ordinairement d'un rouge vermeil et l'intérieur d'un rouge brun, est déterminé dans sa forme et son volume définitifs par la cessation du mouvement de retrait qui a accompagné le phénomène de la coagulation. Cette rétraction a eu pour effet de chasser le sérum hors du caillot, qui néanmoins en retient toujours une certaine quantité évaluée par Schmidt (9) à 1/5e du volume de la masse coagulée. Quant à la proportion du caillot au sérum, évidemment elle devra d'abord dépendre du degré de rétractilité du premier et de la quantité de fibrine contenue dans le sang soumis à l'observation. Un caillot fortement rétractile, par exemple, conservera proportionnellement moins de sérum dans ses aréoles, outre qu'un certain nombre de circonstances que nous signalerons plus loin, par leur influence sur la coagulation elle-même, feront varier aussi le résultat ; une moindre énergie dans le mouvement de retrait laissera au contraire le caillot pénétré d'une plus grande quantité de sérum. On ne sera donc pas étonné du peu d'accord existant parmi les observateurs qui ont cherché à déterminer le rapport dont il s'agit. Ceux qui, comme Prévost et Dumas (10), ont desséché complétement le caillot avant de le peser, ont obtenu des données plus précises. C'est ainsi qu'on a trouvé, dans la poule, sur 1000 parties de sang, 157 parties de caillot; chez l'homme, 129; dans la truite, 63, etc. Le maximum de densité semblerait donc appartenir aux oiseaux.

(1) *Research., Physiol. and Anat.*, vol. II. — *Edinb. Med. and Surg. Journal*, 1828, vol. XXX, p. 248.
(2) *Dissertatio, physiol. med. sistens sanguinis coagulantis historiam.* Groningue, 1820.
(3) *An essay on the Blood.* London, 1824.
(4) *Recherches expérimentales sur le sang humain.* Paris, 1830. — *Nouveau Mém. sur le sang, etc.* Paris, 1859.
(5) Poggendorf's, *Annalen für Physik*, 1832, t. XXV.
(6) *Ouvr. cit.*, p. 17.
(7) *Recherches sur la composition du sang.* Paris, 1844, in-8, p. 22.
(8) *Traité de chimie*, t. VII, p. 66.
(9) *Charakteristik der epidemischen Cholera.* Leipzig, 1850.
(10) *Bibliothèque universelle de Genève*, t. XVII, p. 302.

En tenant compte des minimes quantités de sérum que peut encore contenir le caillot, même après sa dessiccation, on trouve qu'il est formé des globules et de la *fibrine* (*), c'est-à-dire de la portion solide du sang et d'un élément du plasma solidifié dans la coagulation. D'une part, le lavage prolongé du caillot, en entraînant la matière colorante, avait depuis longtemps montré à Malpighi (1) que celui-ci reste formé d'une substance blanchâtre ayant l'aspect de filaments fibreux ; d'autre part, l'opération du battage du sang, pratiquée d'abord par Fréd. Ruysch (2), en enlevant la fibrine, avait empêché la coagulation de ce fluide sous les yeux de l'observateur ; ce qui avait permis d'attribuer à la fibrine la coagulabilité spontanée du sang. Une expérience de Hewson (3) vint ajouter encore à cette démonstration. Utilisant la propriété qu'ont certaines substances salines étendues d'eau et mêlées au sang (sel commun, par exemple) de retarder sa coagulation, il observa que, dans un pareil mélange laissé au repos, les globules gagnaient la partie inférieure du vase, et que dans le liquide incolore qui surnageait était contenue la fibrine dissoute. Celle-ci, traitée par une certaine quantité d'eau, donna bientôt lieu au phénomène de la coagulation, et un *caillot incolore* se forma. D'après ces faits on ne pouvait donc plus douter que la fibrine ne fût le principe coagulable du sang. Quant au *caillot ordinaire*, il est évidemment composé à la fois de ce principe immédiat et des globules : ceux-ci, habituellement emprisonnés dans les mailles de la fibrine à mesure qu'elle se coagule, peuvent néanmoins, avant toute coagulation, être isolés à l'aide de certains procédés.

Malgré les observations précédentes, on continua à supposer que la fibrine qui constitue le caillot provient des globules rouges, et non du plasma. Dans cette hypothèse, ces globules, privés de l'influence de la vie et rapprochés rapidement les uns des autres, laissaient échapper leurs noyaux composés de fibrine, tandis que leurs enveloppes avec la matière colorante se trouvaient bientôt retenues dans l'espèce de réseau formé par tous les noyaux réunis. Cette ancienne manière de voir, défendue de nos jours surtout par Ev. Home (4), Prévost et Dumas (5), était encore celle de beaucoup de micrographes, quand J. Müller (6) vint, à l'aide d'expériences nouvelles, donner au problème une solution toute différente et définitive. Après avoir mêlé à du sang de grenouille une quantité égale d'eau sucrée (une partie de sucre pour 200 parties d'eau environ), ce physiologiste versa la liqueur sur un filtre mouillé, et vit dans le mélange filtré se produire, au bout de quelques minutes, un caillot transparent qui peu à peu se condensa, devint blanchâtre et filamenteux. Ce caillot était de la fibrine dans le plus grand état de pureté, car le microscope n'y accusa la présence d'aucun globule altéré ou intact. D'un autre côté, J. Müller reconnut, à l'aide du même instrument, que les globules qu'on sépare de la fibrine par le battage du sang, et qui demeurent sur le filtre, conservent leur intégrité.

Ces expériences, avons-nous dit, ont été faites avec du sang de grenouille dont

(*) Synonymie : *matière fibreuse, gluten du sang, lymphe coagulable.* Le nom de *fibrine* a été proposé par FOURCROY.

(1) *Opera omnia*, 1666, p. 123 : *De polypo cordis dissertatio.*

(2) *Thesaurus anat. septim.*, n° XXXIX, p. 19, et tab. III, fig. 6, c. Amstelœdami, 1710.

(3) *Experim. Inquir. into the Properties of the Blood*, chap. I, experim. III.

(4) *Croonian Lectures on the Blood*, etc. (*Philos. Transact.*, 1818, 1820).

(5) *Biblioth. univ. de Genève*, 1821, t. VII : *Examen du sang.*

(6) *Beobachtungen zur Analyse der Lymphe, des Blutes und des Chylus* (POGGENDORF'S *Annal.*, 1832, t. XXV).

les globules, en raison de leur volume, peuvent ne point traverser le filtre. Un pareil résultat est-il possible avec les globules sanguins de l'homme? L. Figuier (1) a reproduit des observations analogues aux précédentes, en opérant sur du sang humain auquel il avait mêlé, pour un volume de ce fluide, deux volumes d'une dissolution de sulfate de soude marquant 16 à 18 degrés de l'aréomètre de Baumé.

Ainsi, nul doute que la fibrine ne soit le seul élément du sang auquel on doive rapporter le phénomène de la coagulation, et qu'à un moment donné, elle ne se sépare du plasma, pour se condenser et embrasser dans son réseau les globules eux-mêmes. Si les globules sont restés unis à la fibrine plasmique, le caillot est coloré; mais, dans le cas où on les en a d'abord séparés, ils conservent avec eux l'*hématosine*, à laquelle est due la coloration rouge du sang, et le caillot est incolore. — Du reste, la composition chimique des globules (p. 485) pourrait aussi être invoquée pour servir à démontrer que ces petits corps ne sauraient être la source exclusive de la fibrine du caillot, comme l'avaient supposé à tort un assez grand nombre de physiologistes.

Pendant que le sang se sépare en deux parties, c'est-à-dire durant l'acte de la coagulation, les éléments qui composent le caillot (fibrine du plasma et globules) peuvent contracter différents rapports et se présenter sous un aspect variable, suivant certaines circonstances.

A peine le sang est-il reçu dans un vase, et le repos établi, qu'en raison de leur densité, les globules tendent à se précipiter vers le fond. Aussi déjà un certain nombre d'entre eux ont-ils gagné la région inférieure, quand la coagulation a commencé à produire le réseau fibrineux: de là une moindre proportion de globules à la surface peu colorée du caillot, et une coloration plus foncée, due à un plus grand nombre de ces petits corps, à mesure qu'on examine le caillot plus profondément. Toutefois, le sang de quelques animaux se coagule si vite, que les globules restent emprisonnés dans les mailles de la fibrine, et qu'on n'observe pas de portion incolore à la surface supérieure du caillot : c'est ce qui a lieu, par exemple, avec le sang des oiseaux (*).

Si, par une cause quelconque, la coagulation est lente à se montrer, la précipitation des globules aura le temps de se faire en plus grande abondance, et il restera à la partie supérieure une certaine quantité de fibrine, réunie en une *couche blanchâtre*. Cela s'observe naturellement chez le cheval et d'autres animaux dont le sang se coagule lentement. C'est cette couche blanchâtre, résistante, élastique, plus ou moins opaque et parfois épaisse de plusieurs millimètres, que l'on désigne sous le nom de *couenne*. — Les expériences de Polli (2) surtout ont bien démontré l'influence que peut avoir la lenteur de la coagulation dans la formation

(1) *Comptes rendus de l'Acad. des sciences de Paris*, 1844, t. XIX, p. 101. — Et *Ann. de chimie et de physique*, 3e série, t. XI, p. 503.

(*) C. Schmidt (*Charakteristik der epidemischen Cholera*, p. 18) a cherché, dans de nombreuses expériences, à déterminer la densité des globules du caillot : il a trouvé que, chez l'homme en santé, elle variait entre 1,0885 et 1,0889, tandis que, chez la femme, elle se maintenait entre 1,0880 et 1,0886. Avant lui, J. Davy (*a*) l'avait estimée à 1132, et avait évalué celle de la fibrine à 1046 et à 1060. — On comprend d'ailleurs combien peuvent varier les densités respectives des *globules*, de la *fibrine* ou du *sérum*, et combien il est difficile d'en apprécier exactement les effets sur le phénomène de la coagulation.

(2) *Ricerche ed esperimenti intorno alla formazione della cotenna nel sangue*. In-8, Milano, 1843.

(*a*) *Researches Physiol. and Anat.*, vol. II, p. 17.

de ce produit fibrineux : suivant cet observateur, pour le sang humain, la coagulation, *en moyenne*, s'opère en onze minutes quand le caillot n'est pas couenneux, et en vingt-sept minutes lorsqu'il se recouvre de couenne. De plus, Polli a constaté que, si l'on prend le soin de ralentir suffisamment la coagulation, tout sang peut fournir de la couenne, tandis que si l'on précipite au contraire la coagulation, le sang qui, sans cette précaution, aurait donné de la couenne, n'en donne plus.

On sait aussi l'influence qu'a la forme du vase dans lequel on reçoit le sang : un vase qui est étroit, allongé, facilite la précipitation des globules, et le caillot est couenneux. Cela n'arrive point avec un vase large et offrant une faible hauteur ; il en est de même si le jet de sang est rapide, et si le liquide est recueilli dans un vase qu'on agite de temps en temps. Ces dernières conditions sont défavorables à la production de la couenne, qui est au contraire favorisée par un écoulement lent ou faible, et un repos parfait dès que le sang a été extrait des vaisseaux.

J. Müller (1) admet, d'après ses propres expériences, que, dans la formation de la couenne, le ralentissement de la coagulation n'est pas la seule cause qu'on doive invoquer, mais qu'il faut encore tenir compte à la fois de la composition de la liqueur du sang (*plasma*) et de la dissolution de la fibrine dans ce liquide. Suivant ce physiologiste, la précipitation des globules est beaucoup plus lente quand on a enlevé la fibrine du plasma, et il suffit d'ajouter au sang fouetté et dépouillé de fibrine une dissolution de gomme arabique pour rendre de nouveau l'abaissement des globules aussi rapide dans ce sérum que dans le plasma lui-même. On ne saurait d'ailleurs dire pourquoi les globules s'abaissent rapidement dans le plasma, et lentement dans le sérum du sang battu, c'est-à-dire dans la même liqueur dépouillée de sa fibrine. Tous les phénomènes de suspension paraissent dépendre de l'adhésion des molécules aux liquides : peut-être les globules adhèrent-ils moins à la liqueur du sang ou plasma qui tient encore de la fibrine en dissolution qu'au sérum du sang battu, qui a perdu sa fibrine. Quant à l'influence accélératrice que la solution de gomme, tout en augmentant la viscosité du sérum, exerce sur le dépôt des globules, il nous semble probable, comme à Milne Edwards, que cela tient à une action exosmotique sur ces corpuscules et à l'augmentation de leur densité par suite de la soustraction d'une portion de leur eau.

De nombreuses observations ont été faites sur la *couenne inflammatoire* du sang par les pathologistes, qui ont cherché à établir, d'après sa présence ou son absence, des indications sur la nature et le traitement des maladies. Nous renverrons, pour ce que nous avons à en dire, à l'étude qui sera faite plus loin des *variations de composition du sang* dans l'état pathologique.

Après avoir tracé le tableau de la coagulation du sang extrait de ses voies naturelles pendant la vie, nous en rapprocherons, avec quelque intérêt, les notions, trop peu nombreuses d'ailleurs, que la science possède sur ce phénomène quand il s'accomplit après la mort dans les vaisseaux eux-mêmes. Ph. Phœbus (2) avait déjà remarqué le fait de l'abaissement des globules dans les caillots trouvés dans le cœur et les gros vaisseaux, lorsque le cadavre avait été tenu immobile pendant la

(1) *Manuel de physiologie*, trad. franç. Paris, 1851, t. I, p. 99.
(2) *Ueber den Leichenbefund bei der Cholera*. Ebend., 1833.

coagulation. Ces caillots, à la fois blancs et rouges, présentaient toujours la partie blanche en dessus, quelle qu'eût été la position du corps. J. Davy (1) et Paget (2) ont aussi étudié avec soin ce phénomène. Des nombreuses recherches de ces deux observateurs voici les résultats les plus saillants :

La coagulation, tant que le sang est contenu dans le cœur et les gros vaisseaux, ne détermine pas la séparation du liquide en deux parties (caillot et sérum) : généralement le sang est ou fluide ou coagulé dans sa totalité ; parfois c'est un mélange de ces deux états, mais jamais on ne rencontre de sérum limpide. J. Davy n'a trouvé qu'un seul cas qui fît exception à cette règle. Paget a fait remarquer la lenteur de la coagulation dans les vaisseaux après la mort : elle ne commence guère, dit-il, que quatre heures après les derniers battements du cœur. Il ajoute que le sang peut même parfois être encore fluide sept ou huit heures après la mort, ce qui ne l'empêche point, en pareil cas, de se coaguler quelques minutes après sa sortie des vaisseaux. Enfin, de ses observations, poursuivies pendant plusieurs années, cet auteur conclut que le sang contenu dans les cavités du cœur au moment de la mort s'y comporte comme dans un vase, et que si la coagulation se fait avec une certaine lenteur et si la quantité de fibrine est assez considérable, les globules descendent à la partie inférieure du caillot, celui-ci étant surmonté d'une certaine masse de fibrine décolorée. Cette disposition du caillot est partout la même : les particules colorées occupent le point le plus déclive, qui est nécessairement déterminé le plus souvent par le décubitus du cadavre. — On ne saurait méconnaître l'analogie du phénomène de la coagulation dans les vaisseaux après la mort avec celui qui a été décrit plus haut : ces derniers faits, d'une part, font ressortir tout ce qu'il y a ici de physique et de mécanique ; ils éclairent, d'autre part, certains points d'anatomie pathologique.

Avant de rechercher la cause de la coagulation du sang, il nous reste à passer en revue un certain nombre de circonstances qui ont été signalées comme pouvant modifier ce phénomène.

Une expérience de Thackrah (3), par exemple, tendrait à faire supposer que la nature même du vase influe sur la proportion du caillot et du sérum : une quantité déterminée de sang reçue dans un vase de cuivre lui aurait donné un caillot proportionnel moins considérable que celui de la même quantité du même sang recueillie dans un vase d'étain. Cette différence a été niée par d'autres observateurs.

Des recherches, faites dans le but de savoir si la *température* influence la coagulation, ont amené à conclure que généralement c'est celle du corps de l'animal auquel le sang appartient qui semble le plus favoriser la prompte apparition du phénomène. John Davy (4) a observé qu'à 0° la coagulation était retardée d'une heure, tandis qu'elle était accélérée, mais d'une manière irrégulière, par une température un peu élevée : ainsi, elle avait lieu plus vite à 30° R. qu'à 20° ou 25°, et moins vite à 38° R. qu'à 25° ; en sorte qu'à un certain degré d'élévation, la chaleur aurait une action analogue à celle du froid. Gendrin (5) a remarqué

(1) *Researches Phys. and Anat.*, t. II, p. 190, 203.
(2) *London medical Gazette*, 1840, t. I, p. 618.
(3) *Ouvr. cit.*, p. 66.
(4) *Edinburgh Med. and Surg. Journ.*, t. XXX, p. 281.
(5) *Traité des inflammations*, t. II, p. 424.

aussi qu'à 0° le sérum ne se séparait pas du caillot. Enfin, d'après Scudamore (1), le froid retarde la coagulation spontanée à peu près dans la même proportion que la chaleur l'accélère.

Le contact de l'*air atmosphérique* est considéré par Hewson comme favorable à la rapidité de la coagulation, et Schrœder van der Kolk (2) admet aussi cette influence accélératrice. On a fait jouer un certain rôle à l'évaporation produite à la surface du liquide : J. Hunter (3) notamment avait observé que le sang, quand il sort lentement des vaisseaux ou s'épanche à la surface d'un vase large et plat, se coagule plus promptement. Magendie (4) a pu injecter, d'une manière lente, d'assez grandes quantités d'air dans les veines d'un animal, sans que le sang montrât plus de tendance à se prendre en caillot. On ne saurait admettre, avec Scudamore, que l'acide carbonique hâte la coagulation.

Hewson (5), en étudiant l'influence des *agents chimiques*, a constaté qu'un assez grand nombre de sels de soude ou de potasse font disparaître la coagulabilité du sang. D'après Prévost et Dumas (6), il suffit d'un millième d'une dissolution de soude ou de potasse caustique pour produire cet effet. Certains sels qui, s'ils sont employés en solution suffisamment concentrée, retardent ou même empêchent la coagulation, semblent plutôt la favoriser, si on les ajoute au sang en très petite quantité. — La bile mêlée au sang, hors du corps, l'empêche de se solidifier, d'après la remarque déjà ancienne de J. Hunter (7). — Mandl a résumé l'action d'un assez grand nombre d'autres substances sur le fluide sanguin étudié sous ce point de vue (8).

Le sang des individus qui, pendant la vie, ont été soumis à certaines influences, semble, après la mort, avoir perdu plus ou moins complétement sa coagulabilité. J. Hunter a avancé que le sang reste liquide chez les personnes frappées de la *foudre*, et Honoré (9) a rapporté un fait qui vient à l'appui de cette assertion. Il en serait de même, suivant J. Hunter, chez les animaux *surmenés* et excédés de fatigue. Cependant J. Davy, Andrew Smith et Gulliver (10), disent avoir trouvé, dans ces derniers cas, le sang tout aussi coagulable qu'à l'ordinaire, et Ch. Scudamore (11) affirme avoir toujours rencontré ce fluide coagulé chez les animaux tués par de fortes décharges électriques. Il faut donc accepter avec une certaine réserve ces cas où l'on rapporte que le sang a été trouvé liquide, chez des hommes morts à la suite d'émotions vives, de coups sur l'épigastre, ou chez des animaux forcés à la course, etc.

D'un autre côté, le sang peut se coaguler d'une manière extrêmement rapide, même sur l'animal vivant : c'est ce qu'ont observé, par exemple, Dupuy (12) et de Blainville (13), qui, après avoir injecté une petite quantité d'une émulsion de pulpe cérébrale dans le système veineux, ont vu la mort se produire en un temps

(1) *Ouvr. cit.*, p. 66.
(2) *Ouvr. cit.*, p. 11.
(3) *Œuvres complètes*, trad. franç., t. III, p. 46.
(4) *Précis élémentaire de physiologie*, 4e édit., t. II.
(5) *Ouvr. cit.*, p. 13.
(6) *Loc. cit.*
(7) *Œuvres complètes*, trad. franç. de Richelot. Paris, 1843, t. III, p. 50.
(8) Voir le *Manuel d'anat. génér. de* MANDL. Paris, 1843, p. 228 et 229.
(9) *Arch. génér. de méd.*, t. II, p. 624.
(10) *Edinb. Med. and Surg. Journal*, 1828, t. LXXVIII.
(11) *An Essay on the Blood*. London, 1824.
(12) *Gazette médicale de Paris*, 1834, p. 521.
(13) *Gaz. méd. de Paris*, loc. cit.

qui ne dépassait guère deux minutes : à l'autopsie, ils ont constaté la présence de caillots volumineux dans les cavités du cœur et dans d'autres points du système vasculaire. — D'autres cas, dans lesquels une mort plus ou moins prompte est survenue par suite du passage dans le torrent circulatoire de certains venins ou de certains poisons, ont pu paraître autant d'exemples d'une action analogue exercée sur le sang.

On connaît l'influence de l'*asphyxie* sur l'état du sang dans les vaisseaux du cadavre : dans les cas d'asphyxie où la mort ne s'est pas fait longtemps attendre, on trouve toujours ou presque toujours le sang complétement fluide ; dans les cas, au contraire, où la marche des accidents et la mort ont été lentes, on trouve assez fréquemment le sang coagulé et remplissant surtout les cavités droites du cœur.

Des expérimentateurs ont été amenés à regarder la *vitalité* et la *fluidité du sang* comme un résultat de l'action des nerfs pneumogastriques, et ont attribué à l'abolition de l'influence de ces nerfs, après leur section, le développement des coagulums qu'ils ont trouvés notamment dans les vaisseaux du poumon. D'autres observateurs ont prétendu qu'en pareil cas la coagulation du sang dans ces vaisseaux ou dans les cavités du cœur était un simple effet cadavérique. J'ai indiqué précédemment (p. 676 et suiv.) les résultats de mes expériences à ce sujet. — La section du grand sympathique cervical, sur des chevaux, a paru à Cl. Bernard (1) augmenter la coagulabilité du sang des veines jugulaires, sans augmenter néanmoins la quantité de fibrine.

La coagulation peut avoir lieu, pendant la vie, dans un assez grand nombre de cas qu'il nous suffira de mentionner : ainsi on l'observe dans les varices, dans la phlébite, l'artérite, l'anévrysme, certains états cachectiques, etc. L'étude de ce phénomène rentre alors dans un ordre de faits qui sont du domaine de la pathologie. C'est à une altération particulière du sang ou bien à l'inflammation de la membrane interne du cœur et des vaisseaux, qu'on a coutume, dans ces cas, de rapporter la coagulation, comme cela résulterait en effet des travaux de pathologistes modernes, et spécialement des recherches de François (2), Hardy (3), Bouchut (4), etc. La membrane interne du vaisseau enflammé est supposée sécréter une matière qui, mêlée au sang, lui ferait perdre sa fluidité.

Nous avons vu que, dans la coagulation, un des éléments du sang (la fibrine), auparavant fluide, se concrète et se durcit. Ce changement d'état avait fait croire à un certain dégagement de chaleur. Mais J. Hunter (5) reconnut, à l'aide d'expériences répétées, qu'il n'en est point ainsi : dans aucun cas, il ne constata la moindre élévation de température. Les résultats postérieurs et contraires, obtenus par Fourcroy (6), Gordon (7) et Scudamore (8), ont été directement contredits

(1) *Leçons sur les propr. physiol. et les altérations des liquides de l'organisme.* Paris, 1859, t. I, p. 429.

(2) *Essai sur les gangrènes spontanées.* Paris, 1832.

(3) *Des concrétions sanguines qui se forment pendant la vie dans le cœur et dans les gros vaisseaux* (thèse de concours). Paris, 1838.

(4) *Mémoire sur la coagulation du sang dans les cachexies et les maladies chroniques* (*Gazette médicale de Paris*, 1845, p. 241).

(5) *Œuvres complètes*, trad. de Richelot, t. III, p. 51.

(6) *Annales de chimie*, 1790, t. VII, p. 147.

(7) *Ann. of Phil.*, etc., t. XV, p. 139.

(8) *Ouvr. cit.*, p. 75.

par les expériences plus récentes de J. Davy (1), de Thackrah (2), de Schrœder van der Kolk (3) et de Denis (4). Ces observateurs, qui, dans leurs recherches, se sont tenus soigneusement en garde contre toutes les causes d'erreur, ont confirmé l'opinion du célèbre physiologiste anglais. S'il était d'ailleurs vrai qu'une élévation de température se fût produite lors de la coagulation, elle n'aurait pu être que bien minime, attendu qu'une très faible portion du sang (environ 3 millièmes), c'est-à-dire la fibrine seule, lui eût donné naissance en changeant d'état. La vérité est que, si l'on tient le vase dans lequel le sang se coagule, dans un bain d'eau à la chaleur du corps, on ne voit jamais le thermomètre, plongé dans le sang, changer de niveau durant la coagulation (Denis).

La *cause* de la coagulation du sang a été rapportée tour à tour au contact de l'air, au repos, au refroidissement. Comme l'a démontré J. Hunter (5), ce sont là des conditions qui, nous l'avons dit plus haut, ont plus ou moins d'influence sur la marche de ce phénomène, mais qu'on ne saurait regarder comme cause immédiate de sa production. — Puisque la coagulation s'effectue également dans le système vasculaire, dans d'autres cavités closes du corps, et dans le vide lui-même, où J. Hunter assure qu'elle est encore plus rapide qu'à l'air libre, évidemment il n'y a ici aucune part à faire à l'influence de l'*air atmosphérique*. Ajoutons que J. Davy (6), en recevant le sang sous une couche d'huile, le vit se prendre en une masse solide, comme à l'ordinaire. — Une expérience de Hunter démontre aussi que la coagulation ne repose point essentiellement sur le *refroidissement*. Ayant retiré un poisson de la mer, il en mesura immédiatement la température, et en fit écouler une certaine quantité de sang : ce fluide se coagula bientôt, quoiqu'il eût acquis une température plus élevée que celui qui, étant resté dans les vaisseaux de l'animal, s'y était maintenu liquide. Il faut encore remarquer, avec J. Hunter, que certaines parties du corps, telles que le nez, les oreilles, les extrémités des doigts, peuvent être refroidies jusqu'à la congélation, sans que le sang qui en parcourt les vaisseaux passe par la période de coagulation véritable. On connaît cette expérience, instituée par Hewson, dans laquelle du sang récemment recueilli fut congelé rapidement ; dégelé ensuite, il redevint liquide et bientôt après se coagula spontanément. Hewson (7), après avoir excisé deux portions de veine jugulaire d'un chien comprises entre deux ligatures, et avoir plongé l'une dans l'eau froide, l'autre dans l'eau tiède, constata, au bout de trois quarts d'heure, que le sang de la première était encore liquide, quand celui de la seconde était coagulé. Tous ces faits s'opposent à ce qu'on admette le refroidissement comme cause de la coagulation. — On ne saurait non plus en voir la condition essentielle dans le *repos* ou la cessation du mouvement. L'opération de la défribination du sang par le battage le prouve suffisamment ; on peut aussi rappeler les expériences de J. Davy (8), Scudamore (9), Prater (10), qui démon-

(1) *Researches Phys. and Anat.*, t. II, p. 2.
(2) *Ouvr. cit.*, p. 60.
(3) *Dissert. sistens sanguinis coagulantis historiam*, p. 58.
(4) *Recherches expérim. sur le sang*. Paris, 1830, p. 75.
(5) *Œuvres complètes*, trad. franç., t. III, p. 39 et suiv.
(6) *Research.*, etc., t. II, p. 90.
(7) *Ouvr. cit.*, p. 74.
(8) *Ouvr. cit.*, t. II, p. 64.
(9) *Essay on Blood*. London, 1824, p. 41 et 113.
(10) *Experim. Inquir. in Chem. Physiol.*, part. I, p. 17.

trent que le mouvement ne tient pas sous sa dépendance la fluidité du sang, comme l'avaient cru Lower (1) et Sénac (2). De son côté, J. Hunter (3), à la suite d'une ponction d'hydrocèle, avait vu du sang épanché dans la tunique vaginale, y séjourner plus de deux mois, et en sortir liquide lors d'une nouvelle ponction. A peine écoulé au dehors, ce sang se coagula.

Nous nous bornerons à l'énoncé de ces faits pour conclure qu'aucune des précédentes conditions, prises isolément ou combinées, ne peut être regardée comme cause essentielle de la coagulation; que la fluidité et la constitution du sang ne sauraient se maintenir autrement qu'au contact des parties vivantes, et plus spécialement des vaisseaux dans leur état d'intégrité.

On ignore d'ailleurs quelle est la nature du phénomène de la coagulation. Nous voyons la fibrine du sang se solidifier après la mort, mais nous ne savons pas en vertu de quelle force ou de quel agent elle était liquide auparavant. J. Hunter, voyant dans la coagulation un acte de la vie du sang, comparait le travail de cohésion dans le caillot à ce qui se passe entre les lèvres d'une plaie dans la réunion par première intention. Mais, que l'on considère la coagulation comme un acte de la vie du sang ou comme un effet de la mort de ce fluide, qu'on la compare à la rigidité cadavérique, à une sorte de cristallisation, etc., il faut bien reconnaître que c'est encore là un point des plus obscurs, malgré les nombreuses recherches qu'il a provoquées jusqu'à présent.

IV. — On ne possède que des données imparfaites sur la *quantité proportionnelle du sang :* ni l'observation chez l'homme, ni les expériences sur les animaux, n'ont permis encore d'obtenir une solution entière de cette question. Toutefois les résultats approximatifs auxquels on est arrivé ne manquent pas d'un certain intérêt, et il suffira de les exposer dans leurs plus importants détails pour faire voir la difficulté d'en établir de plus précis et de plus satisfaisants.

Commençons par rappeler que la masse proportionnelle du sang est variable selon l'espèce animale, et aussi suivant l'âge, l'état de maigreur ou d'embonpoint, etc.; que, chez le même individu, ce fluide est plus ou moins abondant selon qu'il vient de recevoir les matériaux de la digestion ou qu'il a déjà laissé échapper par les sécrétions et les exhalations une partie de ses éléments. On comprend l'importance de ces remarques : omettre d'en tenir compte, c'est s'exposer à ne résoudre le problème que d'une manière incomplète, et malheureusement la plupart des expériences sur lesquelles se fondent les résultats connus sont entachées de cette omission. Disons à l'avance que, quant aux différences entre les classes d'animaux relativement à la proportion du sang avec la masse du corps, l'examen des chiffres empruntés aux auteurs (4) paraît, jusqu'à présent, devoir interdire toute conclusion générale.

La question de la quantité du sang consiste essentiellement dans l'exposé des procédés employés pour arriver à sa solution. C'est une question tout expérimentale ; aussi la valeur des résultats est-elle subordonnée à la valeur des expériences. Ajoutons que ce sont les animaux qui en ont fourni presque toutes les données.

(1) *Tractatus de corde; item de motu et colore sanguinis*, etc. Londres, 1669, p. 173.
(2) *Traité de la structure du cœur, etc.*, t. II, p. 134.
(3) *Ouvr. cit.*, t. III, p. 48.
(4) BURDACH, *Traité de physiologie*, trad. de Jourdan, t. IV, p. 119 et suiv.

La méthode qui, de prime abord, semble la plus simple et la plus capable de remplir le but, consiste à peser un animal, à le sacrifier ensuite en faisant couler son sang jusqu'au point d'amener la mort : alors on pèse le sang écoulé et l'on compare son poids au poids de l'animal quand il était vivant. C'est ainsi qu'avaient procédé quelques anciens expérimentateurs, et, parmi eux, Allen-Moulins (1), qui établit, comme conséquence de ses recherches, que la masse du sang est un vingtième du poids de l'animal. En 1822, Herbst (2), renouvelant ces expériences et ouvrant à la fois l'aorte, la carotide, l'artère crurale et les vaisseaux pulmonaires, évalue à un chiffre un peu plus élevé la quantité du liquide sanguin. Il avait, dans ce but, sacrifié divers animaux, tels que le bœuf, le chien, le lapin, le canard. Plus tard, Wanner (3), pensant que les animaux de boucherie que l'on tue dans les abattoirs par la saignée perdent ainsi tout le sang contenu dans leurs vaisseaux, rechercha quelle était la proportion du sang dans ces cas. Un bœuf pesant 750 kilogr., par exemple, lui fournit 31$^{kil.}$,50 de sang, c'est-à-dire 1/23,81 ; un mouton de 50 kilogr., 2 kilogr. de sang, ou 1/25e. Sur un lapin de 3 kilogr., Wanner ne trouva que 12 grammes de sang, ou 1/25e. Il crut pouvoir conclure de ses expériences que la quantité du sang, chez l'homme, varie d'un vingtième à un vingt-cinquième de la totalité du poids du corps ; que, chez l'enfant nouveau-né qui pèse environ 3 kilogr., on peut évaluer la masse du sang de 120 à 150 grammes. Un jeune âne, du poids de 79 livres, saigné jusqu'à la mort, donna à Percival (4) 5 livres et demie de sang, ou environ 1/15e de son poids. On peut rapprocher de ces résultats ceux qu'a rassemblés Haller (5), et qui ont été obtenus par un procédé analogue.

Mais tous ces faits, on doit le reconnaître, sont insuffisants pour conduire à une conclusion quelque peu rigoureuse : d'un côté, ils sont incomplets à beaucoup d'égards ; de l'autre, ils sont trop peu nombreux pour donner une moyenne satisfaisante quant aux animaux, encore moins à l'homme. D'ailleurs la méthode elle-même soulève des objections qui ne sont pas sans fondements. Haller a eu raison de dire que, dans ces expériences, on ne peut obtenir la totalité du sang, qu'il en reste toujours une certaine quantité dans les organes ; et, avant lui, Allen-Moulins avait, il est vrai, tenu compte de cette dernière circonstance. Mais alors comment établir le rapport exact entre la quantité extraite et celle qui est retenue dans les vaisseaux, quand surtout l'état du sang, la contractilité vasculaire et la rapidité plus ou moins grande de la mort l'ont fait nécessairement varier ? N'existe-t-il pas aussi, chez les animaux, cette disposition qu'on observe chez l'homme, de pouvoir résister plus ou moins à la perte du sang ? Une syncope peut d'ailleurs en arrêter l'écoulement très peu de temps après qu'on l'a provoqué, etc.

Burdach (6) cite le cas, observé par Wrisberg, d'une femme pléthorique qui, ayant subi le supplice de la décapitation, fournit environ 12 kilogr. de sang. Pour suppléer à l'omission de ces auteurs, évalue-t-on à 65 ou 70 kilogr. le poids d'une femme de cette constitution, on trouve que la quantité de sang formerait à peu près un sixième du poids total du corps humain.

(1) *On the Quantity of Blood in Men* (*Philos. Trans.*, 1689, n° 191, p. 443).
(2) *Comment. hist. crit. et anat. phys. de sanguinis quantitate.* In-4. Gœttingue, 1822.
(3) *Expériences sur la quantité du sang relativement à la masse du corps chez les mammifères* (*Journal de chirurgie*, 1844, p. 232).
(4) *Œuvres complètes de* J. HUNTER, t. III, p. 120. *Note de F. Palmer.*
(5) *Elem. physiol.*, t. II, p. 2 et suiv.
(6) *Traité de physiologie*, trad. de Jourdan, t. VI, p. 119.

Si les cas nombreux d'hémorrhagie, relatés dans les auteurs, sont propres à donner une idée de l'énorme quantité de sang qui peut s'échapper de l'organisme, ils ne sont, la plupart, que d'un faible secours pour résoudre la question qui nous occupe. Encore ne faut-il tenir compte que de ceux dans lesquels l'écoulement du sang a été rapide et s'est opéré en une seule fois : Haller (1), on le sait, a cité quelques faits de ce genre ; et Burdach (2) emprunte encore à Wrisberg le cas d'une femme morte de métrorrhagie après avoir perdu vingt-six livres de sang ! On ne doit pas oublier que le sang se répare, se reforme avec une rapidité dont nous ne connaissons pas exactement la mesure : négliger la portée de ce fait, c'est s'exposer à prendre la somme d'hémorrhagies successives pour l'expression de la quantité de sang normalement contenue dans l'organisme.

Ainsi, les résultats fournis par la méthode précédente sont loin d'avoir toute la précision désirable : car, d'après Allen-Moulins et Herbst, la masse du sang serait la *vingtième* partie du poids total du corps ; elle serait d'un vingtième à *un vingt-cinquième* pour Wanner ; d'un *quinzième* pour Percival ; d'un *cinquième* suivant Haller et quelques autres, tels que F. Quesnay et Fréd. Hoffmann, dont Haller a relaté les observations, etc.

Valentin (3) a cherché à résoudre le problème par une autre voie. Le procédé qu'il a suivi consiste à pratiquer une saignée à un animal, puis à injecter dans ses veines une quantité connue d'eau salée, et à répéter la saignée aussitôt après. Alors on détermine la quantité de matières solides contenues dans ces deux saignées, et, comparant la proportion de ces matières et de l'eau qui existe dans chacune d'elles, on en déduit par le calcul la quantité de sang avec laquelle cette eau a été mêlée dans les vaisseaux. Valentin, ayant varié ses expériences sur des chiens, des chats, des brebis et des lapins, en conclut que le rapport entre le poids du corps et celui du sang est constant dans la même espèce de mammifère. Il trouva, par exemple, que, chez le chien, le sang était 1/4,5, chez le chat 1/7,78 du poids du corps ; de plus, il crut remarquer que les mâles avaient une quantité relative de sang un peu plus grande que les femelles.

En appliquant à l'homme ces données, spécialement celles qui ont été fournies par les chiens, Valentin évalue à un peu moins d'*un cinquième* ($\frac{23}{100}$) le poids proportionnel du sang et du corps. Cette évaluation se rapproche beaucoup, comme on le voit, de celle de Haller, et concorde aussi avec le cas de Wrisberg, où le sang avait été recueilli après la décapitation.

A l'aide d'un procédé fondé sur un principe analogue à celui de Valentin, Blake (4) fit quelques expériences qui l'amenèrent à conclure que, chez le chien, le sang forme un tiers ou un neuvième du poids total de son corps. A cet effet, il injectait dans les veines de l'animal une certaine quantité de sulfate d'alumine, puis dosait ce sel dans une quantité connue de sang.

Les expériences de Valentin et de Blake ne sont pas décisives. On peut croire que la quantité de solution de chlorure de sodium ou de sulfate d'alumine employée n'est point toute restée dans le sang, que les tissus eux-mêmes en ont

(1) *Ouvr. cit.*, t. II, p. 4 et 5.
(2) *Ouvr. cit.*, t. VI, p. 119.
(3) *Versuch über die in dem thierischen Körper enthaltene Blutmenge* (*Repertorium für Anat. und Physiol.*, 1837, Bd. II, p. 281).
(4) *Philadelphia Medical Examiner*. August, 1849.

retenu une partie, ou qu'il s'en est échappé quelque peu par les voies éliminatoires : dès lors les termes de la comparaison ne sont plus exacts. D'un autre côté, il faut encore tenir compte du changement que doit nécessairement exercer sur la constitution du sang l'addition de la substance injectée, dont le mélange avec le sang peut aussi n'être qu'imparfait. Quelle que soit la valeur de ces objections, les résultats des expériences n'en sont pas moins à enregistrer.

Sur deux suppliciés par décapitation, Lehmann et Ed. Weber (1) ont cherché, par un procédé encore analogue à celui de Valentin, à évaluer la quantité relative du sang. Il nous suffira de dire que, chez l'un d'eux, ils trouvèrent qu'elle était au poids du corps dans le rapport d'*un huitième*.

Nous ne ferons que mentionner les procédés de Herbst (2) et de Weisz (3): le premier fondé sur l'injection de tout le système vasculaire par une matière solidifiable, et le second reposant sur la recherche, par incinération, de la quantité de fer contenue dans la masse du corps, et comparée à la proportion de ce métal pour une quantité de sang déterminée. L'un et l'autre n'ont paru conduire qu'à des résultats peu satisfaisants. — Le procédé de Vierordt (4), d'une exécution délicate, n'a peut-être aussi qu'une valeur contestable. — Quant à celui dont Welcher (5) s'est servi, nous rappellerons qu'il consiste à épuiser le corps de tout le sang qu'il contient, par la saignée et le lavage : cette opération se fait dans une quantité d'eau connue où est reçu tout ce qu'il peut y avoir de sang renfermé dans les vaisseaux et les différents tissus. Alors recherchant, par un procédé chromométrique, la quantité d'hématosine obtenue, on la compare avec le nombre de globules de sang humain qu'on emploie à colorer avec la même intensité la même quantité d'eau.

Welcher a été ainsi conduit à des résultats qui ne diffèrent guère de ceux qu'avait admis Valentin, pour l'homme : il évalue un peu moins haut la quantité proportionnelle du sang, et avance que, parmi les animaux vertébrés, les plus faibles sont ceux chez lesquels ce liquide est relativement le moins abondant. Tels seraient, en général, les reptiles et les animaux hibernants. Ajoutons que Th. Bischoff (6), appliquant au cadavre d'un supplicié le procédé de Welcher, a trouvé que la quantité du sang n'était que la *douzième* partie du poids total du corps.

On voit, par ce qui précède, combien sont variables les résultats des divers procédés qui ont servi à déterminer la quantité proportionnelle du sang. Nous avons signalé plusieurs causes de ces différences; et nous rappellerons que Cl. Bernard (7) les a surtout rapportées à ce que, dans les expériences, on a négligé de tenir compte de l'état de l'animal, selon qu'il est à jeun ou en digestion. Pour ce physiologiste, la quantité de sang dans ces deux conditions peut, chez le même animal, varier du simple au double. C'est ce que lui ont appris quelques expériences dans lesquelles il avait pratiqué la décapitation ou une simple soustraction de sang. Comme preuve indirecte de ce fait, il ajoute que l'injection d'un poison dans les veines tue plus

(1) LEHMANN, *Lehrbuch der physiologischen Chemie*, 1853, t. II, p. 234.
(2) *Comment. de sanguinis quantitate*, p. 53.
(3) HELLER'S *Archiv für Physiol. und Path. Chemie und Mikrosc.*, 1837, t. IV, p. 561.
(4) *Beiträge zur Physiol. des Blutes* (*Arch. für physiol. Heilkunde*, 1854. t. XIII, p. 274.
(5) *Blutkörperchenzählung und farbeprüfende Methode* (*Vierteljahrsschrift fur die praktische Heilkunde, herausgegeben von der med. Fac. in Prague*, 1854, t. IV, p. 11, t. XXXIV).
(6) *Zeitschrift*, etc., von SIEBOLD und KÖLLIKER, 1855, t. VII, p. 331.
(7) *Leçons sur les propriétés physiologiques et les altérations des liquides de l'organisme*. Paris, 1859, t. I, p. 419.

rapidement l'animal à jeun que celui qui est en digestion. « Ce qu'on s'explique, dit-il, parce que, pour que l'effet toxique ait lieu, il faut qu'il y ait entre la quantité du sang et celle du poison un rapport qui est toujours le même, rapport atteint d'autant plus vite que le sang est en moindre quantité. »

Évidemment, dans l'examen du problème qui vient de nous occuper, il faut tenir compte à la fois de la nature des faits, des conditions de l'expérience et de la valeur du mode d'évaluation. Aujourd'hui la science ne possède que des données approximatives, qui sont loin d'avoir été recueillies en observant de pareilles précautions.

Quant aux causes qui peuvent augmenter ou diminuer d'une manière plus ou moins durable la quantité relative de la masse sanguine, telles que le régime, les hémorrhagies, etc., il en sera fait mention plus loin, à propos de l'étude des *variations de composition du sang*. Nous passerons donc immédiatement à l'examen d'une question qui se rattache assez étroitement à celle que nous venons de traiter : nous voulons parler de la *transfusion du sang*.

V. — On sait quel retentissement eut, vers le milieu du XVIIe siècle, l'opération de la transfusion du sang : après avoir inspiré des espérances excessives, elle fut abandonnée, proscrite au nom de la loi. Aujourd'hui, elle a repris dans la science une place que lui assure son importance incontestable aux yeux du physiologiste et du médecin. C'est d'ailleurs aux recherches modernes qu'elle doit presque tout son nouvel intérêt. Sans passer ici en revue les essais de Rob. Boyle (1), de Fracassati (2) et Lower (3), sur les animaux, arrivons à ce qu'on peut appeler le point culminant de l'histoire de la transfusion, c'est-à-dire l'application de cette opération à l'homme. C'est J.-B. Denis (4) qui la pratiqua, le premier, à Paris, le 15 juin 1667 : il connaissait les expériences de Lower sur les animaux, les avait répétées et en avait fait de nouvelles, quand il se décida à injecter, dans les veines d'un jeune malade, huit onces de sang artériel d'un agneau. Cette même année, chez deux autres hommes, Denis reproduisit, encore avec succès, la même opération à l'aide du sang artériel de veau. Le sujet de l'une de ces épreuves était un maniaque dont l'agitation et le délire étaient extrêmes depuis quatre mois : après l'injection de 600 grammes de sang de veau, faite en deux fois et à deux jours d'intervalle, « cet individu a paru beaucoup plus calme qu'auparavant, dit Denis, et peu à peu son esprit s'est remis, en sorte qu'il n'a maintenant aucun reste de folie ». Ces premiers succès, cette innocuité d'une opération en apparence redoutable, enhardirent immédiatement les expérimentateurs : en novembre 1667, Lower et Ed. King (5) firent passer dans les veines d'un homme bien portant le sang de la carotide d'un mouton, et l'opéré n'en éprouva, disent-ils, qu'un sentiment de bien-être; de leur côté, Riva (6), P. Manfredi (7), Major (*), etc., s'em-

(1) *Philos. Trans.*, 1665, t. I, p. 129.
(2) MALPIGHII et FRACASSATI *Tetras anatom. epistol.* Bologne, 1665, in-12.
(3) *Tractatus de corde : item de motu et colore sanguinis*, etc. Londres, 1669, in-8.
(4) *Journal des Savants*, 1667, p. 134.
(5) *Philos. Trans.*, 1667, p. 203.
(6) *Ephem. nat. curios.*, dec. I, ann. I, obs. 149.
(7) *De nova et inaudita med. chir. observ., sanguin. transfund.* Romæ, 1668, in-4.

(*) J.-D. MAJOR (*Prodromus a se inventæ chirurgiæ infusoriæ*, etc., Leipzig, 1664, in-8), à Breslau, en 1664, s'est donné à tort comme l'inventeur de la *transfusion du sang*. On ne

pressèrent de publier des succès analogues. Toutefois, bientôt des accidents furent signalés : ils parurent même devenir assez fréquents et assez graves pour que le parlement de Paris et la cour de Rome dussent intervenir, en 1668, et défendre la transfusion. Le malade opéré par Denis était redevenu fou, et avait succombé dans une nouvelle opération.

Après un intervalle de plus d'un siècle, l'étude de la transfusion fut reprise par Harwood (1), qui insista principalement sur ce fait que les animaux dans les veines desquels on transfuse du sang d'animaux d'une espèce différente succombent généralement quelques jours après l'opération.

Avec Blundell (2), Prévost et Dumas (3), la question de la transfusion est entrée dans une nouvelle phase : ce sont surtout les travaux de ces expérimentateurs, et de ceux qui les ont suivis, tels que Dieffenbach (4), Th. Bischoff (5), Brown-Séquard (6), etc., qui ont donné à cette opération l'intérêt qu'elle a justement recouvré au double point de vue de la thérapeutique et de la physiologie.

Le principe sur lequel on fait généralement reposer la transfusion du sang est que cette opération, pour remplir le but qu'on se propose, doit être faite avec le sang d'un animal de la même espèce que celui sur lequel elle est pratiquée. C'est la conclusion la plus directe qu'on ait cru devoir tirer des nombreuses expériences auxquelles se sont livrés les physiologistes, et ce n'est guère que quand ils ont eu établi cette règle, qu'il a paru possible de déterminer la valeur de la transfusion et d'en faire avec quelque sécurité l'application à l'homme. Toutefois un certain nombre de faits semblent contraires à cette règle : ainsi Ed. King transfuse du sang de veau à un mouton épuisé par hémorrhagie, et le succès couronne l'opération. On lit dans Scheel (7) que des brebis exsangues ont été rappelées à la vie par l'injection de sang de veau dans leurs veines. La première transfusion faite par Denis sur l'homme fut heureuse, et elle avait été pratiquée avec du sang d'agneau. Celle que Lower et King firent aussi avec succès sur un homme en pleine santé, le fut avec du sang de mouton. Il est vrai que dans ces cas et d'autres analogues, les conditions de la transfusion ne nous sont pas connues dans tous leurs détails : pour plusieurs de ces cas, la quantité de sang injecté a été très faible, et n'a constitué qu'une légère substitution ; et, pour un certain nombre d'autres, l'issue définitive de la transfusion a été fatale. Seulement, ce n'est qu'après un temps variable que

douter que, avant lui et Lower, le célèbre alchimiste ANDRÉ LIBAVIUS, qui vivait au XVIe siècle, n'ait préconisé cette opération et qu'il ne l'ait regardée comme un moyen de guérison et de rajeunissement. Elle est décrite avec toute la clarté désirable dans le passage suivant de son *Appendix necessaria syntagmatis arcanorum chymicorum*, cap. IV (Erfurt, 1615, in-fol.) : « Adsit juvenis » robustus, sanus, sanguine spirituoso plenus ; adsit et exhaustus viribus, tenuis, macilentus, vix » animum trahens..... Magister artis habeat tubulos argenteos inter se congruentes ; aperiat arteriam » robusti et tubulum inserat muniatque ; mox et ægroti arteriam findat, et tubulum fœmineum » infigat, et jam duos tubulos sibi mutuo applicet, et ex sano sanguis arterialis calidus et spirituosus » saliet in ægrotum, unamque vitæ fontem afferet, omnemque languorem pellet. »

(1) *Philos. Trans. Abr.*, t. I, p. 185, note.
(2) *London Med. Chir. Transact.*, 1818, t. IX, p. 56.
(3) *Biblioth. univ. de Genève*, t. XVII, p. 306.
(4) RUST'S *Magazin für die gesammte Heilkunde*, 1830, t. XXX.
(5) MULLER'S *Archiv*, 1835, p. 347 ; 1838, p. 351.
(6) *Rech. expérim. sur la faculté que possèdent certains éléments du sang de régénérer les propriétés vitales* (*Compt. rend. de l'Acad. des sciences de Paris*, 1855, t. XLI, p. 629).
(7) *Die Transfusion des Blutes*, 1802-3, t. I, p. 136.

les animaux ont succombé, comme l'ont observé Harwood (1), Blundell (2), Ed. King (3), Leacock (4), etc.

Les exemples d'insuccès deviennent plus marqués et la mort est plus rapide à mesure que la différence entre les animaux sur lesquels on opère devient plus grande : les expériences de Prévost et Dumas (5) peuvent être invoquées à l'appui de cette proposition. Le sang de veau ou de mouton, transfusé à des chats ou à des lapins d'abord privés de presque tout leur sang, n'a réveillé la vie que temporairement, et les animaux n'ont pas tardé à succomber après avoir présenté des troubles complexes. On trouve dans l'ouvrage de Blundell (6) des cas analogues. Mais c'est surtout en injectant à des oiseaux du sang de mammifères, que Prévost et Dumas ont vu la mort survenir très vite au milieu de symptômes convulsifs; et ces faits se sont reproduits dans les expériences de Gaspard (7), de Dieffenbach (8) et de Bischoff (9). Burdach (10) les a presque tous enregistrés.

On voit donc quelle influence importante semble exercer sur le résultat de la transfusion le degré de différence entre les espèces. Cette différence n'existant plus, l'innocuité et le succès ont paru de plus en plus assurés : ainsi Lower avait fait passer dans les veines d'un petit chien du sang emprunté à deux gros chiens, sans que cet animal succombât; — un chien dans la carotide duquel Bichat (11) avait fait passer le sang de la carotide d'un animal de même espèce, n'en éprouva qu'un léger trouble ; — les chiens que Harwood avait saignés jusqu'à syncope complète furent toujours rendus à la vie et à la santé, quand il se servait du sang de chien pour opérer la transfusion, etc.

Toutefois une expérience de Milne Edwards (12) et Delafond tend à faire admettre qu'il suffirait que les deux animaux, entre lesquels se pratique la transfusion, fissent partie d'un même groupe naturel, bien qu'appartenant à des espèces distinctes : ainsi un âne, rendu presque exsangue, reçut dans ses veines une quantité considérable de sang de cheval, se ranima et se rétablit d'une manière permanente.

Dans l'opération de la transfusion, après avoir choisi des animaux de même espèce, il est bon, sinon indispensable, de se servir de sang préalablement défibriné par le battage, en donnant peut-être la préférence au sang veineux sur le sang artériel. N'injecter que peu de ce liquide à la fois, sans mélange avec une quantité trop notable d'air, est une précaution qu'on ne saurait surtout négliger.

S'il est vrai, comme le démontrent suffisamment les faits, que chez l'homme ou l'animal épuisé par une abondante hémorrhagie, l'injection d'une quantité de sang nouveau, *bien inférieure d'ailleurs à celle qui a été perdue*, ranime la vie presque éteinte, il est intéressant de connaître auquel de ses éléments ce liquide doit sa propriété vivifiante. A cet égard, les expériences de Prévost et Dumas (13) ont appris

(1) *Phil. Trans. Abr.*, t. I.
(2) *Ouvr. cit.*, p. 82 et suiv.
(3) *Loc. cit.*
(4) *Dissert. inaug. de hæmorrhagia et transfusione.* Edinburgh, 1817.
(5) *Biblioth. univ. de Genève*, t. XVII, p. 306.
(6) *Researches Physiol. and Pathol.*, p. 84.
(7) *Journal de physiol.* de MAGENDIE, 1822, t. II, p. 338.
(8) *Loc. cit.*
(9) *Loc. cit.*
(10) *Traité de physiologie*, trad. franç., t. VI, p. 400 et suiv.
(11) *Recherches physiol. sur la vie et la mort*, 1813, p. 167.
(12) *Leçons sur la physiol. et l'anat. comp.* Paris, 1857, t. I, p. 326.
(13) *Biblioth. univ. de Genève*, t. XVII, p. 226.

que c'est aux globules qu'il faut la rapporter. Si, en effet, dans les veines d'un animal auquel on a fait subir une grande perte de sang, on injecte du sérum (liquide dépouillé de fibrine et de globules), on n'obtient aucun signe de révivification; une injection d'eau tiède ne donne pas un autre résultat. Quand, au contraire, on injecte du sang privé de sa fibrine par le battage, mais conservant ses globules intacts, l'animal est rappelé à la vie. Ces faits, confirmés par Dieffenbach, Bischoff, etc., ne laissent aucun doute sur le rôle nécessaire des globules sanguins dans la transfusion.

Nous avons vu, plus haut, que, d'après Prévost et Dumas, le sang des mammifères transfusé aux oiseaux agirait en quelque sorte comme un poison. Pour expliquer cette action nuisible, on avait d'abord invoqué la différence de forme et de volume entre les globules de ces animaux; mais, depuis les recherches de Bischoff (1), c'est à la présence de la fibrine coagulable qu'on tend plutôt à l'attribuer. En effet, cet expérimentateur dit avoir pu, sans résultats fâcheux, injecter du sang défibriné de mammifères à des oiseaux, et réciproquement; fait constaté, depuis, par d'autres physiologistes. D'un autre côté, Bischoff assure également avoir reconnu que le sang veineux, dans la transfusion entre ces deux classes d'animaux, diffère du sang artériel, quant aux effets produits : du sang veineux de chien, injecté à une poule, la tue, tandis que du sang artériel la laisse survivre.

Les faits de *transfusion du sang*, pratiquée de l'homme à l'homme avec plus ou moins de succès, sont assez nombreux aujourd'hui; leur appréciation rentre dans le domaine de la thérapeutique. De cette importante opération, nous n'avions à exposer ici que ce qui intéresse plus directement la physiologie.

VI. — Diverses théories ont été proposées pour rendre compte de l'action vivifiante et de l'importance physiologique des globules rouges du sang, si bien démontrées par les faits qui précèdent.

La plupart des physiologistes admettent aujourd'hui : 1° que, dans la respiration, l'oxygène atmosphérique se trouve absorbé *surtout* par ces globules; et quelques-uns croient, 2° qu'il entre en combinaison plus spécialement avec leur hématosine ou matière colorante. Or, quand on se rappelle que l'oxygène représente l'agent nécessaire de toutes les réactions physico-chimiques de l'économie, on pressent aussitôt quelle importance doit avoir l'élément organique chargé de son absorption. Le premier de ces faits tend à ressortir d'expériences qui ont consisté, après avoir battu, au contact de l'oxygène, du sang défibriné et encore pourvu de globules, à reconnaître que ce liquide possède, en effet, à l'égard du principe vivifiant de l'air, un pouvoir absorbant presque double de celui que possède un même volume de sérum, sans globules, battu dans le même milieu. Quant au second fait, c'est-à-dire la combinaison particulière de l'oxygène avec l'hématosine, on sait le grand rôle attribué à l'élément principal de cette matière colorante, au *fer* (*). On a supposé que ce métal existe à l'état de protoxyde dans le sang veineux, et à l'état de peroxyde dans le sang artériel. Les changements de couleur que le sang éprouve dans les poumons seraient l'effet d'une *suroxydation*, et ceux qu'il subit dans la

(1) *Rec. cit.*, p. 347.

(*) L'*hématosine*, substance composée d'oxygène, d'hydrogène, de carbone et d'azote, renferme une grande proportion de *fer* (environ 7 pour 100), qu'on obtient par incinération à l'état d'oxyde de fer.

circulation générale, notamment dans les vaisseaux capillaires, seraient l'effet d'une *réduction*.

Quoi qu'il en soit de cette dernière manière de voir qui, on doit l'avouer, est dépourvue de preuves suffisantes, il faut admettre que l'oxygène du sang, s'il est de préférence uni aux globules, s'y est engagé dans une combinaison peu stable qui ne l'empêche pas d'attaquer ultérieurement les matériaux combustibles du sang, mais qui sert uniquement à fixer cet agent et à faciliter son transport dans le torrent circulatoire : la force qui retient l'oxygène dans le globule est même assez faible pour permettre à ce gaz de se dégager en totalité, ou du moins en très grande partie, quand on soumet le sang à l'action du vide. — Chacun sait que parfois on est obligé d'ajouter du *fer* aux aliments pour remédier à une altération fondamentale du sang, qui consiste dans l'appauvrissement de ses globules. La proportion trop minime de ce principe minéral amène les désordres les plus graves dans la santé. Ses usages doivent, en effet, être des plus importants, puisqu'on le découvre aussi jusque dans les cendres du lait et de l'œuf. Mais, jusqu'à présent, ils sont loin d'avoir été suffisamment expliqués, et, à leur sujet, la science ne possède encore que des données bien incertaines. Serait-ce qu'en pareil cas un des principaux éléments de fixation de l'oxygène étant amoindri, la quantité absorbée de ce fluide deviendrait par cela même insuffisante pour présider convenablement au travail moléculaire permanent dont le sang est le siége ; pour développer, comme à l'état normal, certains principes immédiats ou pour en détruire d'autres, etc.? Et, partant, serait-ce là l'origine des troubles de nutrition et d'innervation qu'on observe particulièrement dans la chloro-anémie ?

Si, dans certaines expériences de transfusion, il a été constaté que l'intégrité des globules était nécessaire pour que le sang pût régénérer les propriétés vitales des différents tissus, il a pu paraître vraisemblable que cela a dépendu, au moins en partie, de ce que les globules altérés ne portaient pas autant d'oxygène aux tissus que les globules normaux (1). — Il est dès lors permis de se demander si du sérum qu'on aurait artificiellement chargé d'oxygène, ne posséderait point, dans la transfusion, un pouvoir vivifiant analogue à celui des globules qui renferment naturellement ce fluide. Je ne sache pas que cette expérience ait été faite jusqu'à présent.

Les globules rouges étant considérés comme la partie nutritive et vivante du sang, on a imaginé qu'ils s'appliquaient tour à tour aux parois vasculaires, se modifiaient à leur contact, et que, après les avoir traversées, ils venaient disparaître dans le parenchyme ou la trame des organes pour concourir directement à leur nutrition. Il n'est pas besoin de faire remarquer qu'une pareille vue sur la destination des globules sanguins est purement hypothétique.

Assimilant les globules rouges à des cellules glandulaires qui, une fois parvenues à un certain degré de développement, crèvent en laissant échapper leur contenu, on a pensé que ces globules, après avoir attiré certaines substances du plasma, les métamorphosaient, puis les lui restituaient modifiées, en s'évanouissant eux-mêmes. On cherchait à expliquer ainsi comment, bien qu'ils ne soient pas directement

(1) Brown-Séquard, *Journal de physiologie de l'homme et des animaux*, oct. 1858, t. I, p. 734. — *Comptes rendus de l'Acad. des sc. de Paris*, 1851, t. XXXII, p. 855 ; — *Ibid.*, 1855, t. XLI, p. 629.

nourriciers, les globules rouges constituent néanmoins la portion vivifiante du sang, comme le démontrent en effet les expériences comparatives de transfusion avec du simple sérum ou avec du sang battu, c'est-à-dire pourvu de ses globules.

Du reste, le développement des globules rouges du sang s'effectue sans doute d'après la même loi que celui des autres cellules, c'est-à-dire qu'en effet ils absorbent dans le milieu où ils sont plongés (plasma) les matériaux de leur accroissement, et qu'ils y excrètent des produits nouveaux formés par suite de cette absorption. Ces produits diversifiés, d'abord rejetés dans le plasma par les globules, seraient enlevés, ultérieurement, par les organes dépurateurs, tels que le foie, les reins et la peau, auxquels s'associent les poumons, comme autres voies d'élimination de l'eau et de l'acide carbonique.

Partant de ce principe que des composés fixes et définitifs, comme l'urée et l'acide urique, par exemple, ne sauraient être le produit du plasma qui varie dans sa constitution avec les modes d'existence et le genre de nourriture, on a supposé que ces produits devaient provenir des globules qui, bien que différents dans leur forme, offrent une grande analogie, sinon une identité de composition, dans le sang de tous les animaux. L'urée ou une substance azotée représentée par ce composé, séparée du sang par les reins, serait donc, suivant cette hypothèse, une *excrétion* des globules dans le plasma.

Il nous paraît superflu de passer en revue d'autres théories émises sur le rôle des globules hématiques, attendu qu'aucune d'elles ne saurait être regardée comme satisfaisante et fondée sur des expériences positives.

Quant à la *vitalité* attribuée à ces globules, nous sommes de ceux qui croient devoir l'admettre, sans néanmoins nous en rapporter aux interprétations des observateurs qui disent avoir aperçu une sorte de tourbillon spontané de ces particules dans le sang récemment sorti des vaisseaux, ou bien des mouvements comme convulsifs dans l'ensemble de ce fluide en voie de coagulation, etc. Attendu la longue durée qu'ils assignent à de pareils phénomènes après la mort, il paraît bien difficile de voir là autre chose qu'un résultat dû à l'évaporation, à des modifications de température ou à des courants endosmotiques. Mais, en dehors de cela, combien de preuves n'a-t-on pas qui décèlent une activité physiologique dans les globules sanguins? En étudiant leur formation et leur renouvellement, nous allons voir ces corpuscules être le siége d'actes en tout semblables à ceux qui caractérisent la vie dans les autres éléments organiques.

En même temps nous dirons alors quel rôle problématique on a fait jouer aux *globules blancs* du sang.

VII. — Les études embryogéniques démontrent qu'entre les deux feuillets du blastoderme, au niveau de l'*area vasculosa*, il existe un plasma organisable, une matière plus ou moins fluide contenant des vésicules en voie de développement. *C'est là que se forment et le sang et les premiers vaisseaux.* D'après Reichert (1), etc., les premières cellules sanguines ne se différencieraient en rien de toutes les autres cellules, qui sont rondes, composées de fines granulations et d'un nucléus granulé renfermant un nucléole. Le nucléus des globules sanguins serait, au dire de

(1) *Entwickelungsleben im Wirbelthierreich.* Berlin, 1840, in-4.

C. H. Schultz (1), la partie qui apparaîtrait la première, celle autour de laquelle se formerait une vésicule.

Quoi qu'il en soit de cette dernière opinion, on voit, dans le liquide existant entre les deux feuillets du blastoderme, un certain nombre de cellules se mouvoir au milieu d'autres qui conservent leur position et finissent par se souder entre elles. Celles-ci forment les parois vasculaires; celles-là sont les *globules primordiaux* du sang, que, par leur forme, leur volume et leur constitution, nous avons déjà dit être différents des globules sanguins d'un embryon plus âgé, et surtout d'un adulte.

Quant à l'origine des premiers globules du sang chez l'embryon, on ne peut guère admettre avec Baumgaertner (2), C. H. Schultz (3) et Th. Bischoff (4), qu'ils soient réellement des cellules du jaune; ni même avec Reichert (5), qu'ils proviennent secondairement des petites cellules vitellines. Nous verrons, dans une autre partie de cet ouvrage, les raisons qui militent contre cette manière de voir. Les globules sanguins proviennent de créations blastodermiques, c'est-à-dire de l'évolution et du développement du germe ou de la cicatricule. Dans leur formation, ils ne dépendent d'aucun organe particulier, et se produisent avant que les vaisseaux, avant que les glandes ne soient formés. La préexistence du sang aux vaisseaux, dans la membrane blastodermique de l'œuf, est en effet admise par le plus grand nombre des observateurs.

Le sang des vertébrés, dans sa première période de formation, est d'abord incolore; bientôt il devient jaunâtre, puis rouge. Cette apparition dans les globules de l'hématosine ou matière colorante a motivé, jusqu'à un certain point, leur comparaison avec les utricules glandulaires, siége de la sécrétion. — Les globules rouges se montrent d'ailleurs, dans l'*area vasculosa* du blastoderme, avant les globules blancs, ce qui contrarie la supposition des auteurs faisant provenir les premiers d'une métamorphose des seconds.

D'après ce qui précède, c'est donc au sein du plasma, et à une période bien peu avancée du travail embryogénique, que naissent les globules rouges ou hématiques qui doivent continuer à trouver dans ce fluide les matériaux de leur accroissement ultérieur. Quant à la question de savoir si ces corpuscules primordiaux s'y sont constitués de toutes pièces, ou s'ils se sont détachés de la surface des tissus en voie de formation et dont la substance est en contact avec le plasma organisable, il reste encore de l'incertitude dans l'esprit de la plupart des micrographes.

Nul doute que, chez les vertébrés *adultes*, les globules rouges du sang, qu'on regarde comme les parties vivantes de ce fluide, ne disparaissent et ne se détruisent sans cesse, pour se réparer et se reproduire au fur et à mesure de leur destruction. Il en est de même du plasma.

« Comme dans la respiration (qui consomme de l'hydrogène et du carbone et » qui fournit du calorique), c'est la substance même de l'animal, c'est le *sang*, dit » Lavoisier (6), qui fournit le combustible; si les animaux ne réparaient pas habi- » tuellement par les aliments ce qu'ils perdent par la respiration, l'huile man-

(1) *Das System der Circulation*, etc. Stuttgart, 1836, p. 30 et suiv.
(2) *Ueber die Nerven und das Blut*, etc. Freiburg, 1830, p. 46.
(3) *Loc. cit.*
(4) *Développement de l'homme et des mammifères*, trad. franç. de Jourdan, p. 288.
(5) *Ouvr. cit.*, p. 139.
(6) *Mém. de l'Acad. des sciences de Paris*, année 1789, p. 570 et suiv.

« querait bientôt à la lampe, et l'animal périrait, comme une lampe s'éteint lors-
« qu'elle manque de nourriture. »

Le *chyle* et la *lymphe* sont les deux fluides qui ont pour usage commun de contribuer à la rénovation du sang. Toutefois, quand on considère que le chyle résulte de la transmutation de différents matériaux pris en dehors de l'organisme, tandis que la lymphe est une sorte de chyle formé aux dépens de la propre substance de l'animal lui-même, on ne peut s'empêcher d'assigner à ces deux liquides une différence dans leur importance respective pour la régénération du fluide sanguin. Il est manifeste que, vu son origine et sa composition corrélative, le chyle doit contribuer à cette régénération autrement et plus efficacement que la lymphe, qui, n'ajoutant rien à l'organisme, lui emprunte au contraire les éléments dont elle est formée. Ajoutons que d'ailleurs l'existence de la lymphe et de ses vaisseaux ne se rattache au travail de la nutrition que chez les vertébrés, qui seuls, en effet, sont pourvus de ce fluide; tandis que les matières nutritives équivalentes au chyle se retrouvent dans les vaisseaux de l'intestin des animaux dépourvus de chylifères. Dans les animaux supérieurs, l'acte duquel résulte la lymphe ne paraît donc être qu'un moyen complémentaire à l'aide duquel les matériaux enlevés à l'économie, dans le travail nutritif, lui sont rendus avec des qualités nouvelles, avec une aptitude réparatrice déterminée; aussi voit-on la lymphe, tout en conservant sa destination propre, être en communauté d'action avec le sang veineux et offrir une direction parallèle à la sienne. Elle ramène, comme lui, divers éléments du sang artériel au centre circulatoire, se charge de molécules organiques qui momentanément ont perdu l'aptitude de concourir à la structure des parties, et enfin, plus spécialement dans le canal intestinal, sert, comme le sang veineux, de véhicule à des matériaux étrangers introduits par l'absorption.

Si la lymphe et le chyle (aussi bien que les produits liquides de la digestion absorbés par les veines intestinales) n'offrent pas, comme le sang lui-même, les qualités d'un fluide directement nutritif, on sait qu'ils peuvent, après leur mélange avec lui, les acquérir bientôt au contact de l'air par l'entremise de la respiration : de là le grand intérêt qui s'attache à l'étude comparative de tous les faits relatifs à ces trois liquides.

C'est en pratiquant des fistules au canal thoracique vers son abouchement dans les veines sous-clavières ou jugulaires internes, qu'il est possible de se faire quelque idée de la quantité énorme de liquide (lymphe ou chyle) que le système lymphatique introduit, sans interruption, dans le sang : une vache de taille moyenne a fourni, en vingt-quatre heures, par une pareille fistule, jusqu'à 95,386 grammes des précédents fluides, c'est-à-dire environ un hectolitre (1) ! — En rapprochant un pareil fait des cas d'hémorrhagies abondantes et *répétées* qui, dans un certain laps de temps, ont amené la perte d'une quantité de sang bien supérieure à celle qui existe dans l'organisme, on ne saurait évidemment trouver une meilleure preuve pour établir que le sang est en effet dans un état de perpétuelle mutation, et qu'il doit se renouveler sans cesse avec les matériaux que charrient les lymphatiques de l'intestin (chyle), comme avec ceux que les lymphatiques généraux puisent dans le sein des divers organes (lymphe) ; matériaux auxquels s'ajoutent encore, comme autre source importante de réparation du sang, les matières organiques, solubles et alimentaires, que les veines elles-mêmes puisent dans le tube digestif.

(1) COLIN, *Traité de physiol. comp. des animaux domestiques*. Paris, 1856, t. II, p. 106.

Or, comme la lymphe et le chyle apportent continuellement de nouveaux corpuscules au sang, le nombre des corpuscules nageant dans ce fluide devrait peu à peu s'accroître à l'infini, si les globules qui sont plus anciennement développés ne disparaissaient pas d'une façon quelconque du torrent circulatoire. Cette disparition a lieu certainement, mais on ignore comment elle s'opère, si c'est par dissolution ou par résorption; si, en changeant d'aspect, de dimensions, de consistance et de constitution, les globules hématiques donnent naissance à quelque tissu ou à quelque produit particulier de l'organisme; on n'est guère mieux renseigné sur la durée normale de leur existence avant qu'ils soient remplacés par d'autres globules semblables. Enfin, sur le lieu de leur destruction et de leur régénération on a émis diverses opinions que bien des auteurs ne considèrent encore que comme autant d'hypothèses.

Nous avons déjà dit que la supposition avait été faite que les globules rouges, étant la partie nutritive et vivante du sang, s'appliquaient aux parois vasculaires, se modifiaient à leur contact, et, après les avoir traversées, venaient disparaître dans le parenchyme ou la trame des organes pour concourir directement à leur nutrition. Ce résultat supposé de l'observation microscopique n'a pu supporter le contrôle des investigateurs modernes.

C. H. Schultz (1) admet que les corpuscules colorés du sang, au moins ceux qu'il regarde comme superflus et inactifs, disparaissent pour être employés à la formation de la bile; hypothèse que rien ne justifie. Mais le même physiologiste (2) et H. Nasse (3) ont fait cette remarque intéressante, que par suite d'une abstinence prolongée les précédents globules se décolorent, se déforment et disparaissent graduellement, en l'absence des éléments nécessaires à leur renouvellement. Il en est de même dans beaucoup de cas morbides où le travail de désassimilation continuant, celui d'assimilation cesse faute de l'élaboration des matériaux indispensables à la rénovation des divers principes immédiats du sang. Peu à peu les globules rouges eux-mêmes s'atrophient, pâlissent et finissent par se résorber ou se dissoudre tout à fait; de là une diminution plus ou moins rapide de leur nombre, et, par suite, des troubles variés en rapport avec leur destination physiologique.

D'après diverses observations microscopiques, notamment celles de Kölliker (4), et aussi d'après l'examen chimique du sang avant son entrée dans la rate et à sa sortie de cet organe, la rate devrait être considérée comme étant le siége de la destruction des globules rouges du sang. En examinant plus tard la valeur de cette opinion, à propos de l'étude des fonctions de la rate, nous verrons que les mêmes faits, invoqués par Kölliker à l'appui de son sentiment, ont été interprétés par d'autres tout différemment, en faveur de l'hypothèse opposée et anciennement émise par Hewson, à savoir, que les globules rouges du sang se forment dans la rate.

Si, comme nous l'avons dit, Schultz (5) admet la destruction d'un certain nombre de globules hématiques dans le foie, d'autres observateurs, parmi lesquels nous citerons Prévost et Dumas (6), supposent au contraire que la production de

(1) *Das System der Circulation*, etc. Stuttgart, 1836, p. 72.
(2) SIMON'S *Beiträge zur physiol. Chem. und Mikrosk.*, 1844, p. 567.
(3) WAGNER'S *Handwörterbuch der Physiol.*, t. I, p. 215.
(4) *Zeitschrift für rationnelle Med.*, t. IV. — *Mittheilungen der Züricher naturforsch. Gesellschaft*, 1847.
(5) *Loc. cit.*
(6) *Annales des sciences naturelles*, 1824, t. IV, p. 96.

ces corpuscules a son siége principal dans l'organe où se forme aussi la bile : les globules elliptiques de l'oiseau (lequel offre d'abord des globules sphériques) ne paraîtraient qu'au moment où le foie se forme (*).

Quant à la durée de l'existence des globules rouges, elle varie sans doute suivant les circonstances, et probablement aussi suivant l'espèce animale. Cette durée normale, chez les batraciens, serait de quinze jours au moins, d'après les observations de Marfels et Moleschott (1) : en effet, ces auteurs affirment avoir encore retrouvé, après ce laps de temps, dans le système circulatoire de la grenouille, quelques globules de sang de mouton, sang qu'ils avaient d'abord introduit dans l'estomac de ce batracien. La distinction entre ces corpuscules, variés de volume et de forme dans ces deux espèces animales, était évidemment facile. Seulement la conclusion ne saurait être ici bien rigoureuse, puisque la résorption ou la dissolution avait à s'opérer sur des globules étrangers à l'animal mis en expérience. Rien ne prouve que les globules propres au sang de la grenouille elle-même doivent durer le même temps avant de se renouveler.

A propos des hypothèses précédentes sur le lieu de la formation des globules hématiques et sur celui de leur destruction, chez l'adulte, on peut rappeler que ces globules, nés dans le plasma de l'*area vascularis* de l'embryon, naissent sans doute, chez l'adulte, dans les capillaires de *tous les organes*, au sein même du plasma qui devra les emporter dans le torrent circulatoire ; que d'ailleurs, chez l'embryon, ils préexistent au foie comme à la rate ; qu'on les observe chez les myxinoïdes (**), qui ne possèdent ce dernier viscère à aucune époque de leur existence ; qu'enfin on les a vus persister et se renouveler chez des chiens ayant survécu à l'ablation de la rate, chez des grenouilles privées de leur foie.

Vouloir absolument localiser les phénomènes dont il s'agit, en leur assignant le système capillaire de tel ou tel organe particulier, nous semblerait donc une exagération. Les globules sanguins disparaissent comme ils sont venus : il s'en forme constamment de nouveaux dans le plasma du sang de tous les organes, et, quand ils ont parcouru un certain cercle de métamorphoses, quand ils ont atteint un certain âge, peut-être se dissolvent-ils dans ce plasma absolument de même que d'autres cellules (par exemple les cellules glandulaires) se dissolvent d'elles-mêmes lorsqu'elles sont parvenues à un degré déterminé de développement, ou bien crèvent en laissant échapper leur contenu (2). A l'appui de l'opinion que les globules hématiques subissent en effet plusieurs phases de développement, et qu'ils existent dans le sang à divers degrés de formation par suite de leur renouvellement continuel, on peut rappeler que, parmi ces globules pris dans le même sang, les uns résistent moins que les autres à l'action de l'eau et même de l'acide acétique ; que les uns se flétrissent vite, spontanément, quand ils sont soustraits à l'influence des parties vivantes, tandis que les autres se conservent très longtemps intacts, etc. (3).

(*) D'après L. MANDL, la destruction des globules rouges s'opérerait dans le foie, à l'aide de la bile, dont on connaît l'action dissolvante sur ces corpuscules.

(1) *Untersuch. zur Naturlehre des Menschen und der Thiere*, von MOLESCHOTT, 1856, t. I, p. 52.

(**) Genre de poissons cyclostomes voisin des lamproies.

(2) HENLE, *Anat. génér.*, t. I, p. 493, trad. franç. de Jourdan. Paris, 1843.

(3) DONNÉ, *Cours de microscopie*. Paris, 1844, p. 87.

Ainsi, d'après ce qui précède, le contenu des globules hématiques retournerait dans le plasma du sang, où ces corpuscules s'étaient d'abord développés, « et l'on pourrait, jusqu'à ce qu'on en sache plus long sur leur compte, dit Henle (1), les considérer comme des corps glanduleux nageants, qui attirent certains matériaux de ce plasma, les métamorphosent, puis les lui restituent perfectionnés, en se dissolvant. » On arriverait ainsi à expliquer pourquoi, bien qu'ils ne soient pas directement nourriciers, ils sont néanmoins la partie vivifiante du sang; à tel point que, comme nous l'avons vu précédemment, ce n'est ni par le sérum, ni par la fibrine très divisée ou dissoute que la vie peut être ranimée après des hémorrhagies épuisantes, mais par du sang battu, c'est-à-dire tenant encore presque tous ses globules en suspension.

Nous venons de dire où se forment les *globules rouges* du sang chez l'embryon, où ils se forment, se détruisent et se renouvellent chez l'adulte, en laissant voir toutefois ce qu'il y a encore d'hypothétique dans la plupart des données que la science possède à ce sujet, aussi bien qu'à propos de la destination physiologique de ces corpuscules. Il nous reste à indiquer l'origine présumée des *globules incolores* du sang, et, après avoir recherché d'où ils viennent et où ils vont, à essayer de savoir s'il existe ou non quelque rapport, quelque lien qui unissent entre elles les diverses espèces de particules sanguines. Enfin il nous faudra aussi dire quelques mots de l'origine des autres matériaux constitutifs du sang.

Dans le sang des adultes, les corpuscules blancs ou incolores sont désignés sous le nom de *corpuscules lymphatiques* par un assez grand nombre de micrographes, pour rappeler l'origine qu'ils leur assignent dans la lymphe. Mais l'existence de globules blancs dans le sang de l'embryon, à une époque où il n'y a pas encore vestige de vaisseaux et de ganglions lymphatiques, prouve qu'il s'en forme dans les vaisseaux sanguins, et que, *du moins chez l'embryon*, cette espèce de globules ne provient pas nécessairement de la lymphe.

Pour les auteurs qui ont embrassé l'opinion émise d'abord par G. Hewson (2), les globules blancs du sang appartiennent à une phase du développement des globules rouges. Hewson, regardant ces globules blancs et les corpuscules de la lymphe comme identiques, suppose que ces derniers sont appelés à constituer la partie centrale des globules rouges du sang; il suppose aussi que les vaisseaux et les ganglions lymphatiques, le thymus et la rate concourent à la formation de l'élément organique par excellence, du globule rouge ou hématique. Suivant cet observateur, les lymphatiques qui émergent des ganglions représenteraient des conduits excréteurs dans lesquels ces ganglions versent les corpuscules lymphatiques ou centraux des globules du sang, et l'enveloppe colorée de ces derniers prendrait naissance à la fois dans les vaisseaux de la lymphe et dans la rate, mais surtout dans ce dernier viscère. La plupart des observateurs ont rejeté la théorie de Hewson comme dénuée de preuves.

Il est une autre théorie qui a été adoptée surtout par C. H. Schultz (3) et J. Müller (4) : elle admet que les globules du sang se forment des granulations

(1) *Loc. cit.*
(2) *Disquisitio experimentalis de sanguinis natura*, trad. lat. Leyde, 1785, in-8, p. 94 et suiv.
(3) *Das System der Circulation*. Stuttgart, 1836, p. 30 et suiv.
(4) *Manuel de physiol.*, trad. franç. Paris, 1851, t. I, p. 119.

que c'est aux globules qu'il faut la rapporter. Si, en effet, dans les veines d'un animal auquel on a fait subir une grande perte de sang, on injecte du sérum (liquide dépouillé de fibrine et de globules), on n'obtient aucun signe de révivification; une injection d'eau tiède ne donne pas un autre résultat. Quand, au contraire, on injecte du sang privé de sa fibrine par le battage, mais conservant ses globules intacts, l'animal est rappelé à la vie. Ces faits, confirmés par Dieffenbach, Bischoff, etc., ne laissent aucun doute sur le rôle nécessaire des globules sanguins dans la transfusion.

Nous avons vu, plus haut, que, d'après Prévost et Dumas, le sang des mammifères transfusé aux oiseaux agirait en quelque sorte comme un poison. Pour expliquer cette action nuisible, on avait d'abord invoqué la différence de forme et de volume entre les globules de ces animaux; mais, depuis les recherches de Bischoff (1), c'est à la présence de la fibrine coagulable qu'on tend plutôt à l'attribuer. En effet, cet expérimentateur dit avoir pu, sans résultats fâcheux, injecter du sang défibriné de mammifères à des oiseaux, et réciproquement; fait constaté, depuis, par d'autres physiologistes. D'un autre côté, Bischoff assure également avoir reconnu que le sang veineux, dans la transfusion entre ces deux classes d'animaux, diffère du sang artériel, quant aux effets produits : du sang veineux de chien, injecté à une poule, la tue, tandis que du sang artériel la laisse survivre.

Les faits de *transfusion du sang*, pratiquée de l'homme à l'homme avec plus ou moins de succès, sont assez nombreux aujourd'hui; leur appréciation rentre dans le domaine de la thérapeutique. De cette importante opération, nous n'avions à exposer ici que ce qui intéresse plus directement la physiologie.

VI. — Diverses théories ont été proposées pour rendre compte de l'action vivifiante et de l'importance physiologique des globules rouges du sang, si bien démontrées par les faits qui précèdent.

La plupart des physiologistes admettent aujourd'hui : 1° que, dans la respiration, l'oxygène atmosphérique se trouve absorbé *surtout* par ces globules; et quelques-uns croient, 2° qu'il entre en combinaison plus spécialement avec leur hématosine ou matière colorante. Or, quand on se rappelle que l'oxygène représente l'agent nécessaire de toutes les réactions physico-chimiques de l'économie, on pressent aussitôt quelle importance doit avoir l'élément organique chargé de son absorption. Le premier de ces faits tend à ressortir d'expériences qui ont consisté, après avoir battu, au contact de l'oxygène, du sang défibriné et encore pourvu de globules, à reconnaître que ce liquide possède, en effet, à l'égard du principe vivifiant de l'air, un pouvoir absorbant presque double de celui que possède un même volume de sérum, sans globules, battu dans le même milieu. Quant au second fait, c'est-à-dire la combinaison particulière de l'oxygène avec l'hématosine, on sait le grand rôle attribué à l'élément principal de cette matière colorante, au *fer* (*). On a supposé que ce métal existe à l'état de protoxyde dans le sang veineux, et à l'état de peroxyde dans le sang artériel. Les changements de couleur que le sang éprouve dans les poumons seraient l'effet d'une *suroxydation*, et ceux qu'il subit dans les

(1) *Rec. cit.*, p. 347.

(*) L'*hématosine*, substance composée d'oxygène, d'hydrogène, de carbone et d'azote, renferme une grande proportion de *fer* (environ 7 pour 100), qu'on obtient par incinération à l'état d'oxyde de fer.

circulation générale, notamment dans les vaisseaux capillaires, seraient l'effet d'une *réduction*.

Quoi qu'il en soit de cette dernière manière de voir qui, on doit l'avouer, est dépourvue de preuves suffisantes, il faut admettre que l'oxygène du sang, s'il est de préférence uni aux globules, s'y est engagé dans une combinaison peu stable qui ne l'empêche pas d'attaquer ultérieurement les matériaux combustibles du sang, mais qui sert uniquement à fixer cet agent et à faciliter son transport dans le torrent circulatoire : la force qui retient l'oxygène dans le globule est même assez faible pour permettre à ce gaz de se dégager en totalité, ou du moins en très grande partie, quand on soumet le sang à l'action du vide. — Chacun sait que parfois on est obligé d'ajouter du *fer* aux aliments pour remédier à une altération fondamentale du sang, qui consiste dans l'appauvrissement de ses globules. La proportion trop minime de ce principe minéral amène les désordres les plus graves dans la santé. Ses usages doivent, en effet, être des plus importants, puisqu'on le découvre aussi jusque dans les cendres du lait et de l'œuf. Mais, jusqu'à présent, ils sont loin d'avoir été suffisamment expliqués, et, à leur sujet, la science ne possède encore que des données bien incertaines. Serait-ce qu'en pareil cas un des principaux éléments de fixation de l'oxygène étant amoindri, la quantité absorbée de ce fluide deviendrait par cela même insuffisante pour présider convenablement au travail moléculaire permanent dont le sang est le siége ; pour développer, comme à l'état normal, certains principes immédiats ou pour en détruire d'autres, etc.? Et, partant, serait-ce là l'origine des troubles de nutrition et d'innervation qu'on observe particulièrement dans la chloro-anémie ?

Si, dans certaines expériences de transfusion, il a été constaté que l'intégrité des globules était nécessaire pour que le sang pût régénérer les propriétés vitales des différents tissus, il a pu paraître vraisemblable que cela a dépendu, au moins en partie, de ce que les globules altérés ne portaient pas autant d'oxygène aux tissus que les globules normaux (1). — Il est dès lors permis de se demander si du sérum qu'on aurait artificiellement chargé d'oxygène, ne posséderait point, dans la transfusion, un pouvoir vivifiant analogue à celui des globules qui renferment naturellement ce fluide. Je ne sache pas que cette expérience ait été faite jusqu'à présent.

Les globules rouges étant considérés comme la partie nutritive et vivante du sang, on a imaginé qu'ils s'appliquaient tour à tour aux parois vasculaires, se modifiaient à leur contact, et que, après les avoir traversées, ils venaient disparaître dans le parenchyme ou la trame des organes pour concourir directement à leur nutrition. Il n'est pas besoin de faire remarquer qu'une pareille vue sur la destination des globules sanguins est purement hypothétique.

Assimilant les globules rouges à des cellules glandulaires qui, une fois parvenues à un certain degré de développement, crèvent en laissant échapper leur contenu, on a pensé que ces globules, après avoir attiré certaines substances du plasma, les métamorphosaient, puis les lui restituaient modifiées, en s'évanouissant eux-mêmes. On cherchait à expliquer ainsi comment, bien qu'ils ne soient pas directement

(1) Brown-Séquard, *Journal de physiologie de l'homme et des animaux*, oct. 1858, t. I, p. 734. — *Comptes rendus de l'Acad. des sc. de Paris*, 1851, t. XXXII, p. 855 ; — *Ibid.*, 1855, t. XLI, p. 629.

l'eau qui s'échappe par l'exhalation pulmonaire, la sueur et l'urine, ou comme certains principes minéraux mêlés à la nourriture, qui s'en vont plus spécialement par les reins ; mais il est aussi dans le sang d'autres matériaux qui, développés par le travail intime et moléculaire de l'organisme lui-même, ne sauraient y séjourner sans donner lieu à des accidents, comme l'urée, les acides urique et hippurique, produits azotés expulsés par les reins, ou comme les acides sudorique, choléique et cholique, autres produits azotés que chassent la peau et le foie, ou enfin l'acide carbonique qu'exhalent surtout les poumons. — Grâce à un travail d'assimilation et de désassimilation si admirablement compensé, on arrive à comprendre que, plasma et globules, qui ont d'ailleurs une composition solidaire, puissent maintenir cette composition, malgré ses variations, dans des limites compatibles avec la santé.

Il n'est d'ailleurs pas sans intérêt de rappeler ici que cette composition, envisagée d'une manière générale, tend à se rapprocher beaucoup de celle qu'on observe dans tout aliment complet; c'est-à-dire que l'aliment type et le fluide sanguin renferment à la fois des éléments organiques *albuminoïdes*, *sucrés et gras*, unis a des *éléments minéraux ou salins*, également essentiels à l'organisme. De cette analogie il ne faudrait pourtant pas inférer, avec quelques physiologistes, que le sang emprunte aux aliments ses principes immédiats tout formés : la vérité est que la digestion ne se borne pas à dissoudre l'aliment, mais qu'elle lui fait subir des transformations avant de le livrer aux vaisseaux qui doivent l'introduire dans le sang. Une fois qu'elles sont arrivées dans ce fluide et mises en présence de l'oxygène (de ce gaz qu'on retrouve dans la plupart des combinaisons de la matière), combien d'associations nouvelles, de changements de nature et de composition n'ont pas encore à subir la plupart des substances alimentaires avant de passer à l'état de *matière nutritive* ou avant d'être éliminées !

VIII. — Tracer un *parallèle du sang avec le chyle et la lymphe*, c'est-à-dire examiner les rapports et les différences de propriétés et de composition que ces trois fluides présentent, nous semble un complément utile de nos précédentes études sur la régénération du sang.

L'examen microscopique a fait découvrir de nombreux corpuscules tenus en suspension dans ces trois liquides : les caractères différentiels (physiques et chimiques) de ces corpuscules, ainsi que leurs transformations supposées, nous sont déjà connus.

Exposés au contact de l'air, la lymphe, le chyle et le sang ne tardent point à se *coaguler spontanément* ; c'est-à-dire que leurs éléments se séparent en une portion solide ou *caillot* et en une portion liquide ou *sérum*. Nul doute que, dans les trois cas, la fibrine ne soit le principe auquel il faille rapporter ce phénomène, qui, en général, se manifeste plus vite dans le sang que dans la lymphe et le chyle.

Le plasma du sang, celui du chyle et celui de la lymphe, sont facilement coagulables par la chaleur : ils doivent cette propriété à la présence de l'albumine.

Ces trois humeurs offrent une *saveur* fade ou à peine salée, dans laquelle on distingue un arrière-goût légèrement alcalin. Néanmoins on constate parfois une saveur un peu sucrée dans le chyle des animaux nourris de féculents. — Le sang, le chyle et la lymphe exhalent une *odeur* animalisée qu'on rend plus sensible à

l'aide de certains réactifs, et qui, généralement, rappelle celle de l'animal dont ces fluides proviennent. Quant à la *couleur*, qui peut si bien servir à distinguer le sang du chyle et de la lymphe, il faut savoir que cette apparence pourrait faire supposer des différences beaucoup plus profondes que celles qui existent réellement entre ces humeurs : chez les vertébrés, le sang est rouge brun ou rouge vermeil, suivant qu'il provient d'une veine ou d'une artère ; le chyle, qui est blanc laiteux chez les carnassiers nourris de viande et chez les herbivores encore à la mamelle, n'est plus qu'un peu lactescent chez les herbivores adultes et placés dans les circonstances ordinaires ; enfin la lymphe est, en général, incolore ou très faiblement colorée en jaune. Mais la lymphe et le chyle, fait digne de remarque, ont une tendance à prendre, à l'air, une teinte rosée ou rougeâtre, plus ou moins sensible suivant l'alimentation. Le chyle paraît même pouvoir rougir dans le canal thoracique, durant la vie, et la lymphe devient sensiblement rosée par suite de l'abstinence. D'après les uns, il existerait, dans le chyle et la lymphe, une matière particulière et distincte de l'hématosine, matière qui aurait, en effet, la propriété de rougir par le contact de l'air ou de l'oxygène ; selon les autres, et c'est l'opinion la plus probable, ces humeurs renfermeraient déjà de vrais globules hématiques en voie de formation, surtout au voisinage de l'endroit où elles se déversent dans le sang.

Le sang, le chyle et la lymphe ont une réaction alcaline due à la présence d'une certaine quantité de soude libre : leur sérum verdit les couleurs bleues végétales.

Les analyses les plus récentes et les plus exactes tendent à établir que *presque tous* les mêmes éléments figurent dans la composition de ces trois humeurs, qui ne diffèrent guère entre elles que par les quantités absolues et relatives de ces éléments.

Pour la *fibrine* et l'*albumine*, il ne saurait y avoir le moindre doute sur leur présence commune ; mais la proportion de ces principes est moindre dans le chyle que dans le sang. La différence, quant à la fibrine, est surtout manifeste entre le sang et le chyle qui n'a pas encore traversé les ganglions mésentériques. — Des *matières grasses* existent dans la lymphe, le chyle et le sang ; mais elles sont beaucoup plus abondantes dans le chyle que dans les deux autres. La lymphe, sorte de chyle formé aux dépens de la substance de l'animal lui-même, et provenant par conséquent de matières azotées et *graisseuses*, peut renfermer une proportion assez notable de graisse, surtout chez les animaux soumis à l'abstinence ou seulement à une alimentation insuffisante. — *Une matière sucrée* (la glycose) se trouve à la fois dans la lymphe, le chyle et le sang (Colin). Suivant Poiseuille et Lefort (1), la lymphe contiendrait toujours plus de glycose que le chyle, et ces deux liquides en renfermeraient plus que le sang artériel.

La *créatine* et la *créatinine*, produits d'excrétion qu'on rencontre en faibles proportions dans le sang, n'ont été retrouvées ni dans le chyle, ni dans la lymphe. — Quant à l'*urée* (dernier terme des oxydations successives qu'éprouvent dans les tissus les matériaux azotés devenus impropres à la vie), qui doit être comprise aujourd'hui parmi les éléments normaux du sang, sa présence a été constatée, dans ces derniers temps, par A. Wurtz (2) dans la lymphe du chien et du cheval, et aussi dans le chyle du chien et d'un taureau nourri à la viande (3). La lymphe

(1) *Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris*, séance du 5 avril 1858.
(2) Communication écrite du 22 mars 1858.
(3) *Bulletin de l'Acad. de méd. de Paris*, 1857. — Rapport de P. BÉRARD.

contient même une proportion d'urée beaucoup plus forte que celle qui est normalement contenue dans le sang (*). De prime abord, on pourrait s'étonner de trouver déjà, dans la lymphe et dans le chyle surtout (à côté d'éléments nutritifs destinés à renouveler le sang), un composé tel que l'urée qu'on a coutume de regarder comme un produit d'excrétion prenant origine dans les tissus et dans le sang lui-même. Mais, d'une part, il faut savoir que l'urée découverte dans le chyle du canal thoracique *provient de la lymphe* mêlée à ce fluide réparateur ; et, d'autre part, que l'urée contenue dans la lymphe provient des métamorphoses accomplies dans l'*intimité des tissus*, où l'absorbent les radicules lymphatiques aussi bien que les radicules veineuses. Si ces métamorphoses, desquelles résultent l'urée et d'autres produits, s'accomplissaient exclusivement dans le système capillaire sanguin, on ne comprendrait pas comment l'urée, en particulier, se trouverait dans la lymphe en plus grande proportion que dans le sang. — Comme produits de métamorphose intermédiaires entre les substances complexes qui se détruisent et les derniers produits de leur oxydation (l'eau, l'acide carbonique, l'urée), Wurtz a signalé dans la lymphe la présence de l'*acide formique et de l'acide lactique*, qu'on observe aussi dans le sang. L'*acide hippurique*, qui existe d'une manière constante dans ce dernier fluide, n'a été rencontré par cet habile chimiste ni dans le chyle, ni dans la lymphe.

Un élément minéral, dont la présence dans le sang est généralement admise, le *fer*, se découvre également dans le chyle. Son existence, d'abord contestée dans la lymphe, paraît avoir été démontrée, dans le caillot de cette humeur, surtout par les analyses récentes de Gubler et Quévenne (1). Le fer est d'ailleurs plus abondant dans le sang que dans ses deux liquides réparateurs.

Quant aux nombreux *sels inorganiques*, la plupart à base de potasse ou de soude, qui se rencontrent dans le sang (chlorure de sodium, carbonate de soude, chlorure de potassium, phosphate de soude, sulfate de potasse, phosphate de chaux, de magnésie, carbonate de chaux), on les retrouve aussi, avec des proportions variables, dans le chyle et dans la lymphe. Par exemple, la quantité de chlorure de sodium qui existe dans la lymphe est presque toujours double de celle qu'on a signalée dans le sang. — Enfin l'*eau*, dont la présence est indispensable à tout ce qui est vivant et organisé, constitue la plus grande partie de la masse de ces trois humeurs, qu'elle maintient dans l'état de fluidité nécessaire à la circulation.

La présence de l'*oxygène*, de l'*azote* et de l'acide *carbonique* dans le sang, contribue à caractériser ce liquide : ces gaz n'existent ni dans le chyle, ni dans la lymphe.

Ce parallèle du sang avec le chyle et la lymphe suffit pour légitimer la proposition que nous avions formulée plus haut : « *presque tous* les mêmes éléments figurent dans la composition de ces trois humeurs, qui ne diffèrent guère entre elles que par les quantités absolues et relatives de ces éléments. » De plus, ce parallèle a l'avantage de montrer quels matériaux arrivent dans le sang tout formés ou à peu près formés, et quels autres s'y développent par suite du travail moléculaire

(*) Extrait d'une lettre que WURTZ m'a adressée le 2 mai 1858, et dans laquelle il a bien voulu me communiquer les nouveaux résultats de ses recherches sur la composition de la lymphe et du chyle.

(1) C. DESJARDINS, *Mém, sur un cas de dilatation variqueuse du réseau lymphatique superficiel du derme ; émission volontaire de lymphe.* — Analyse de cette lymphe et réflexions par QUÉVENNE et GUBLER (*Gaz. méd. de Paris*, 1854).

dont il est le siége, sous l'action incessante de l'oxygène. Il ne légitime point d'ailleurs l'opinion exagérée qui considère la lymphe comme du *sang filtré* à travers les capillaires et retournant au sang par le canal thoracique, après s'être chargé d'eau salée par quelque effet d'endosmose. Suivant la remarque judicieuse de P. Bérard (1), s'il en était ainsi, la lymphe ne pourrait être regardée, en aucune façon, comme une source de réparation du sang. Si, au contraire, on considère la lymphe comme un produit de la décomposition du corps, on comprend tout d'abord comment, dans certaines limites, elle peut réparer *immédiatement* les pertes que le sang aura faites, non-seulement par des hémorrhagies, mais encore dans les actes ordinaires de la vie, comme on le voit chez les gens qui font abstinence et qui maigrissent.

IX. — Pour compléter l'étude du sang, de cette humeur que nous avons vue être dans un état de perpétuelle mutation, il nous reste à examiner ses principales *variations et différences de composition* (*).

Certaines conditions organiques déterminent dans la composition du liquide sanguin des changements qui portent sur la proportion de ses éléments : mais ces changements étant compatibles avec l'état de santé, ils représentent ce qu'on peut appeler des *variations physiologiques* dans la composition du sang. Sous ce titre nous étudierons les variations qui se rapportent au *sexe*, à l'*âge*, à l'*espèce*, à la *constitution*, au *régime*, à la *menstruation*, à la *grossesse*, à l'*état des fonctions*. — Dans un autre ordre de faits qui appartiennent au domaine pathologique, nous aurons à signaler des modifications plus profondes apportées à la constitution du fluide sanguin : seulement nous devrons en limiter l'étude à ce qui intéresse plus particulièrement la physiologie.

1° Ce n'est que sur la proportion d'un petit nombre des éléments du sang que le *sexe* exerce une influence.

En premier lieu, il faut citer les *globules* qu'on s'accorde généralement à reconnaître comme plus nombreux chez l'homme que chez la femme. Lecanu (2) a trouvé en moyenne 132 millièmes pour l'homme et 99 pour la femme ; avant lui, Denis (3) avait donné 147 et 138 ; Schmidt (4), en admettant les chiffres de 513 et 396, compte en même temps la quantité d'eau que, selon lui, contient chaque globule ; enfin Becquerel et Rodier (5) se sont arrêtés aux chiffres de 140 et 127 millièmes. On voit par ces données que, si les auteurs accusent entre eux quelques différences dans la quantité relative des globules de l'homme et de la femme, tous leurs résultats s'accordent pour attribuer, d'une manière absolue, la prééminence au sexe masculin. D'un autre côté, en observant la précipitation lente des globules dans une éprouvette graduée, Parchappe (6) a constaté, après un repos de trois jours, en volume : 613 pour l'homme et 551

(1) *Cours de physiologie*, t. III, p. 187. Paris, 1851.

(*) Voir ci-dessus, p. 481-500, ce qui concerne la *composition dite normale du sang*.

(2) *Études chimiques sur le sang humain*. Paris, 1837, p. 66.

(3) *Recherches expérimentales sur le sang*, p. 290.

(4) *Charakteristik der epidemischen Cholera*. Leipzig, 1850.

(5) *Traité de chimie pathologique*. Paris, 1854, p. 91.

(6) *De l'analyse quantitative des principes constituants du sang* (*Moniteur des hôpitaux*, 1856, t. IV).

pour la femme. Ajoutons que Welcker (1), par sa méthode chronométrique, a été conduit également à admettre une plus grande quantité de globules chez l'homme.

L'*eau*, au contraire, est généralement plus abondante dans le sang de la femme que dans celui de l'homme. Les expériences de Denis (2) donnent en moyenne 758 millièmes pour l'homme et 785 pour la femme ; celles de Lecanu (3) 791 et 821, celles de Becquerel et Rodier (4) 780 et 791, celles de Parchappe (5) 763 et 767. Dans ses recherches, Schmidt avait aussi reconnu que la proportion d'eau fournie par le sérum était de 90 pour 100 chez l'homme, et de 91 chez la femme. Il n'est pas besoin de faire ressortir la concordance de ces résultats.

S'il est vrai, d'une manière générale, que la *densité* du sang dépende de la proportion d'eau que renferme ce liquide, on peut déjà supposer, d'après ce qui précède, que le sang de l'homme sera plus dense que celui de la femme. Les expériences de Polli (6), de Becquerel et Rodier (7) confirment ces prévisions. A l'aréomètre de Baumé, Polli a trouvé, en moyenne, 6°,575 pour le sang de l'homme et 6°,142 pour celui de la femme ; Becquerel et Rodier ont obtenu, par la comparaison du poids d'un volume déterminé de sang et d'eau distillée, les chiffres de 1055,5 pour la femme et 1060,2 pour l'homme.

Tels sont les éléments du sang sur lesquels la différence de sexe influe d'une manière bien appréciable ; les autres n'offrent que des variations trop légères et trop peu constantes pour qu'on doive s'y arrêter.

Quelques expériences, dont les résultats ont été publiés par Andral, Gavarret et Delafond (8), tendent à faire admettre, pour certains animaux, les mêmes différences que nous venons de signaler dans l'espèce humaine. Mais les faits de ce genre sont encore trop peu nombreux pour qu'il soit permis d'en tirer une conclusion générale.

2° Denis (9), étudiant l'influence de l'*âge* sur la composition du sang chez l'homme, a trouvé que le nombre des globules allait en augmentant depuis les premiers temps de la vie jusqu'à trente ans environ. A cette époque, le chiffre de ces corpuscules avait atteint son maximum (en moyenne 157) ; au delà de cet âge, il diminuait progressivement pour n'être plus que de 113, par exemple, entre la soixantième et la soixante et dixième année. Toutefois le sang du fœtus lui avait donné une proportion plus grande que chez l'adulte. — Les expériences de Lecanu (10) ont fourni une moyenne de 133 chez l'homme adulte, moyenne descendant jusqu'au-dessous de 120, à partir de quarante-huit à soixante-quatre ans. Popp (11) a obtenu des résultats analogues. Dans tous ces cas, la proportion

(1) *Blutkörperchenzählung und farbeprüfende Methode* (*Vierteljahrsschr. für prakt. Heilkunde*, V. Frag., 1854, t. XLIV, p. 11).
(2) *Ouvr. cit.*, p. 267.
(3) *Ouvr. cit.*, p. 65.
(4) *Ouvr. cit.*, p. 91.
(5) *Mém. et rec. cit.*
(6) *Della colenna del sangue*, p. 16 (*Annal. univ. di medicina d'Omodei*, 1843).
(7) *Ouvr. cit.*, p. 91.
(8) *Recherches sur la composition du sang de quelques animaux domestiques* (*Ann. de chimie*, 1842, 3e série, t. V, p. 330).
(9) *Recherches expérimentales sur le sang.*
(10) *Nouvelles recherches sur le sang*, 1831, p. 27.
(11) *Untersuchungen über die Beschaffenheit des menschlichen Blutes in verschiedenen Krankheiten*. Leipzig, 1845.

d'eau a diminué en raison directe de l'augmentation des globules; et Polli (1), de son côté, a reconnu que la densité du sang est plus considérable chez l'adulte que chez l'enfant.

L'augmentation du chiffre des globules correspondrait à la période moyenne de la vie : telle serait donc la seule modification sensible apportée par l'âge à la composition du sang de l'homme. Cette conclusion aurait besoin d'être établie sur des faits plus nombreux.

Une particularité, signalée par Becquerel et Rodier (2), est l'élévation du chiffre de la cholestérine qui, à partir de l'âge de trente ans environ, se maintiendrait presque doublé jusque dans la vieillesse.

Les expériences sur les animaux ont donné également quelques résultats que nous nous bornerons à mentionner. Ainsi le chiffre des globules chez le bœuf a été trouvé par Denis (3) de 17 pour 100, et de 15 chez le veau; Nasse (4) a obtenu des rapports identiques. Chez le chien adulte, Denis a constaté 97, et 167 chez le chien nouveau-né; chez des chiens de trois mois, 99 seulement. Poggiale (5), en évaluant à 126 la proportion des globules chez le chien adulte, l'a vue chez le chien âgé d'une heure s'élever à 165, puis tomber à 158 quarante-huit heures après. Quelques autres expériences, faites par Denis et Poggiale, sur la poule, le chat, le pigeon, accusent, en général, un chiffre un peu plus élevé chez les individus déjà parvenus à un certain développement. On comprend tout ce qu'avec ces seuls faits la question de l'influence de l'âge sur la composition du sang laisse à désirer.

3° Les différences de composition suivant l'*espèce* ne sont qu'incomplétement connues : toutefois les résultats déjà obtenus permettent de se faire une idée des variations que subit le sang dans la proportion de ses éléments chez divers animaux.

Prévost et Dumas (6), dans le tableau comparatif qu'ils ont donné de l'analyse du sang, chez un certain nombre de vertébrés, ont établi que la quantité des globules était plus élevée dans les oiseaux que dans les mammifères, et dans ces derniers que dans les reptiles et les poissons. D'autres expériences, instituées par Nasse (7), Poggiale (8), etc., ont donné des résultats analogues. Ainsi le chiffre des globules, chez les oiseaux, a varié de 121 à 150, tandis que chez les mammifères il a oscillé entre 86 et 120 ou 130. Dans leurs recherches, Andral, Gavarret et Delafond (9) ont trouvé que la moyenne des globules était plus élevée chez les carnivores que chez les herbivores : ils ont obtenu pour le chien une moyenne de 148,3, bien supérieure, comme on le voit, à celle de l'homme. Pour le même animal, Nasse a donné 123, et Poggiale 126. Il a paru aussi à Andral, Gavarret et Delafond, que le croisement de race, chez certaines espèces ovines, entraînait une augmentation dans le chiffre des globules.

(1) *Ouvr. cit.*, p. 61.
(2) *Ouvr. cit.*, p. 92.
(3) *Ouvr. cit.*, p. 256.
(4) *Journ. für prakt. Chemie*, 1843, t. XXVIII, p. 146.
(5) *Comptes rendus de l'Acad. des sciences de Paris*, 1847, t. XXV, p. 112.
(6) *Ann. de phys. et de chimie*, t. XXIII, 1823.
(7) *Journ. f. prakt. Chem.*, 1843, t. XXVIII.
(8) *Comptes rendus de l'Acad. des sciences de Paris*, 1847, t. XXV, p. 112.
(9) *Recherches sur la composition du sang de quelques animaux domestiques*, 1842, p. 24.

La fibrine, chez les animaux, offre un chiffre variable, tantôt supérieur, tantôt inférieur à celui de l'homme. Andral, Gavarret et Delafond ont rencontré, dans le porc, la moyenne la plus élevée, c'est-à-dire 4,6; après le porc vient le cheval, qui leur a donné 4,0 ; puis les espèces bovines, qui ont fourni le chiffre 3,7. Les bêtes ovines se rapprochent beaucoup de l'homme pour le chiffre de la fibrine, tandis que les chiens lui sont inférieurs, et n'offrent qu'une moyenne de 2,1 et un minimum qui peut descendre jusqu'à 1,6. Les auteurs de ces recherches font aussi remarquer l'indépendance qui existe, chez les animaux, entre les globules et la fibrine: le chiffre ne s'élève ni ne s'abaisse simultanément pour ces deux éléments chez la même espèce d'animal.

La proportion d'eau est, en général, un peu plus grande chez les reptiles et les poissons que chez les mammifères et les oiseaux: les chiffres donnés par Berthold (1), Hering (2), Poggiale (3), ne diffèrent pas sensiblement de ceux qu'avaient rapportés Prévost et Dumas. Ces derniers expérimentateurs avaient trouvé, en moyenne, 870 pour les poissons et 800 pour les vertébrés à sang chaud. Parmi les animaux observés par Andral, Gavarret et Delafond, le chien a offert le chiffre le plus petit, 774,1; chez les autres, la moyenne a varié de 804 à 813,15.

Enfin, la moyenne des matériaux solides du sérum a été de 75,5 à 92,4 chez les différentes espèces soumises aux recherches de ces derniers expérimentateurs.

4° Il est aussi difficile de dire quelle est l'influence de la *constitution*, du *tempérament* sur la composition du sang, que de préciser avec exactitude ce qui caractérise rigoureusement l'une ou l'autre de ces deux conditions. Nous nous bornerons à rappeler que Lecanu (4) a reconnu que la quantité des globules était plus grande chez les individus dits *sanguins* que chez ceux d'un tempérament lymphatique : la moyenne, était pour les hommes de 136 à 116 et pour les femmes de 126 à 117. Pour Andral et Gavarret, l'élévation du chiffre des globules, chez les différents individus d'une même espèce, est en rapport constant avec l'énergie de la constitution.

5° Le *régime* ou l'*alimentation* exercent sans doute une grande influence sur la proportion des éléments du sang. Mais comment préciser cette action, isolée de celle de l'âge, du sexe, etc., de toutes les conditions qui peuvent la combattre ou la favoriser ? Les expériences qui mettraient cette influence dans tout son jour sont encore à faire. On peut dire qu'une bonne alimentation coïncide avec un certain degré de vigueur corporelle et s'accompagne de l'élévation du chiffre des globules. D'un autre côté, on sait que l'abstinence entraîne une diminution dans la quantité de la masse du sang, et qu'une alimentation peu abondante ou insuffisante conduit à un abaissement du chiffre des globules. C'est ce qu'ont observé Becquerel et Rodier (5) chez des individus qui présentaient des conditions analogues à la privation plus ou moins absolue d'aliments. Ils ont constaté, dans ces cas, une diminution marquée des globules et du chlorure de sodium, et un peu d'augmentation dans la matière grasse. On trouve dans les mémoires de Denis et Lecanu quelques faits analogues ; et Verdeil (6) a signalé chez le chien l'in-

(1) *Beiträge zur Anat., Zool. und Physiol.* Gottingen, 1831, p. 260.
(2) *Physiol. mit steter Berücksichtigung*, etc. Stuttgart, 1832.
(3) *Mém. cit.*
(4) *Nouvelles recherches sur le sang*, 1831, p. 30.
(5) *Traité de chimie pathol.*, 1854, p. 95.
(6) *Gazette des hôpitaux*, 1849, n° 70.

fluence de la nourriture sur la production plus ou moins abondante des phosphates ou des carbonates dans le sang.

6° Le sang subit pendant la *grossesse* des modifications assez remarquables dans la proportion de ses principes constituants. Le nombre des globules y descend presque constamment au-dessous de la moyenne ; c'est ce qui résulte des observations faites sur trente-quatre femmes par Andral et Gavarret (1). Selon Becquerel et Rodier (2), qui d'ailleurs n'ont pratiqué qu'un petit nombre d'expériences à ce sujet, la diminution des globules a lieu presque dès le commencement de la grossesse jusqu'à l'accouchement; à cette époque, elle arrive en moyenne à 113. Fr. Simon (3) a obtenu, par l'analyse, de semblables résultats. Dans leurs recherches sur les animaux domestiques, Andral, Gavarret et Delafond (4) ont constaté la diminution des globules chez la brebis, la vache, vers la fin de la gestation, et le retour vers le chiffre normal quelques jours après la parturition. Cette élévation nouvelle coïncide avec les accidents puerpéraux.

Quant à la fibrine, elle offre une augmentation dont la moyenne est, pour Becquerel et Rodier, de 3,5. Dans les 34 cas observés par Andral et Gavarret, il y avait, pendant les six premiers mois, une légère diminution de ce principe ; mais, dans les trois derniers mois, l'augmentation était constante et pouvait atteindre un maximum de 4,8.

Becquerel et Rodier ont aussi constaté une proportion moindre de l'albumine, surtout vers l'époque de l'accouchement, ainsi qu'une diminution dans la densité du sang, et une augmentation assez prononcée dans la matière grasse phosphorée.

7° Quant à l'influence que la *menstruation* exercerait sur la composition du sang, on sait qu'avant l'établissement de cette fonction, le chiffre des globules, d'après Becquerel et Rodier (5), reste inférieur à 127, qui est la moyenne normale ; il en est de même dans les cas de dysménorrhée. Mais une fois la menstruation établie, les globules augmentent et varient entre 127 et 137. A l'époque critique, le chiffre redescend de nouveau.

8° L'*état des fonctions* a une influence remarquable sur la coloration du sang, et partant, sur sa composition, au moins en ce sens que l'oxygène et l'acide carbonique, qui sont en dissolution dans ce liquide, sont réputés en modifier profondément la couleur suivant leur quantité relative.

Le sang veineux glandulaire et le sang veineux musculaire, par exemple, présentent, comme l'a établi Cl. Bernard (6), une coloration absolument opposée quand on les considère pendant l'état d'activité des organes. Lorsque le muscle agit et se contracte, le sang veineux qui en sort est très noir; quand la glande fonctionne et expulse le produit de sa sécrétion, le sang veineux qu'elle fournit est au contraire d'une couleur rutilante, parfois identique avec celle du sang des artères. Dans les glandes à sécrétion intermittente, il existe, dit cet expérimentateur, une alternative

(1) ANDRAL, *Essai d'hématologie pathologique*, 1843, p. 105.
(2) *Traité de chimie pathologique*, 1854, p. 101.
(3) *Animal Chemestry*, t. I, p. 335.
(4) *Annales de chimie et de physique*, 3e série, t. V.
(5) *Ouvr. cit.*, p. 92.
(6) *Comptes rendus de l'Acad. des sc. de Paris*, 1858, t. XLVI, p. 159. — *Ibid.*, t. XLVII, p. 243. — *Leçons sur les propriétés physiologiques des liquides de l'organisme*. Paris, 1859, t. I, p. 320 et suiv.

de coloration rouge et noire dans le sang veineux, suivant que l'organe est dans l'une ou l'autre des deux conditions physiologiques que l'on a dénommées : *état de fonction, état de repos.*

Nous n'avons pas à faire connaître ici les conditions physiologiques du système nerveux qui règlent ces actions chimico-organiques spéciales ; il s'agit seulement de rechercher quels caractères différentiels existent entre le sang artériel et le sang qui sort d'une glande en activité. Au moment de la saignée, le sang artériel et le sang veineux rouge ne diffèrent pas par leur couleur ; mais, après une demi-heure ou une heure, ils ne se ressemblent plus du tout : le premier est toujours rouge, et le second est devenu noir comme du sang veineux ordinaire. La coagulation est d'ailleurs plus prompte dans le premier. Il est donc évident que le sang veineux a dû être modifié dans son passage à travers les capillaires de la glande, malgré la rapidité de ce passage due à une plus grande dilatation des vaisseaux. C'est seulement lorsque la circulation s'y fait d'une manière lente, ou dans l'état de repos de l'organe, qu'aurait lieu la transformation complète du sang artériel en sang veineux, noir ; transformation qui, sans doute, résulte de phénomènes nutritifs faisant momentanément défaut dans l'autre cas où la sécrétion seule semble s'opérer. — Lorsque les veines glandulaires contiennent du sang rouge vermeil, et que la circulation et la sécrétion offrent tant d'activité, il importerait de savoir si le produit sécrété, aux dépens d'un sang en apparence peu modifié consécutivement, réunit bien tous les caractères qui lui sont propres. De plus, une analyse comparative du sang, avant et après son passage dans la glande, reste aussi à faire.

Il ne saurait entrer dans notre plan d'examiner en détail les *variations de composition* qu'éprouve le sang dans l'*état pathologique :* aussi ne ferons-nous qu'exposer les notions les plus précises qu'on possède aujourd'hui, en choisissant celles qui peuvent éclairer divers points de la physiologie de cet important fluide. Malgré les louables efforts d'un grand nombre de pathologistes modernes, que de maladies aiguës et chroniques dans lesquelles la connaissance des altérations du sang reste encore un mystère ! A Andral et Gavarret revient surtout l'honneur d'avoir fondé la partie scientifique de l'hématologie pathologique, et d'avoir établi en même temps, sur leurs belles études, une classification des maladies. A la suite de l'exposé de leurs découvertes, nous dirons aussi les résultats les plus saillants dus à d'autres éminents observateurs qui ont suivi la même voie.

Devant signaler, en premier lieu, les maladies dans lesquelles on a constaté l'*augmentation de la fibrine*, commençons par rappeler, avec Andral et Gavarret, qu'au point de vue de la proportion de ce principe comme des autres, « il y a, *pour le sang de chaque espèce animale une constitution donnée*, inhérente à cette espèce, qui est pour elle l'état de santé, et qui, pour une autre espèce, serait la maladie (1). »

Dans 1000 grammes de sang humain, il n'existe guère, en moyenne, que 2 à 3 grammes de fibrine desséchée : ainsi 2 à 3 millièmes, telle est la proportion

(1) ANDRAL, GAVARRET et DELAFOND, *Recherches sur la composition du sang de quelques animaux domestiques dans l'état de santé et de maladie* (*Annales de chim. et de phys.*, 3e série, t. V, 1842).

généralement admise comme normale chez l'homme. Or, Andral et Gavarret (1) ont reconnu et définitivement établi que, dans le cours des phlegmasies diverses, l'augmentation de la fibrine est constante : ils ont vu, chez l'homme, la quantité relative de ce principe s'élever à 5, 6, 8 et même 10 millièmes.

En pareils cas, sans doute sous l'influence de l'abstinence et des émissions sanguines auxquelles les malades sont ordinairement soumis, on voit au contraire les globules, ainsi que l'albumine, diminuer; et comme la quantité d'albumine en moins correspond à peu près à l'excédant de fibrine, l'opinion a été émise que l'albumine doit alors se convertir en fibrine (*).

C'est notamment dans la pneumonie, le rhumatisme articulaire aigu et la pleurésie, que le plus haut degré d'accroissement de la fibrine dans le sang a été observé ; puis viennent la péritonite, la bronchite, l'amygdalite, l'érysipèle, etc. L'élévation du chiffre est d'ailleurs en rapport avec l'intensité et la généralisation de la phlegmasie (**).

C'est avec raison qu'Andral et Gavarret ont professé que l'excès de fibrine est ici la conséquence et non la cause du travail phlegmasique : car ils avaient constamment observé que, dans le sang de la saignée faite avant le début appréciable de la phlegmasie, la fibrine n'était point augmentée. A cette occasion, je rappellerai que, chez un chien dont le sang contenait normalement 1 millième de fibrine, Zimmermann (2) trouva, deux jours après avoir pratiqué une plaie au cou, 3 millièmes du même principe; qu'une autre fois, ayant déterminé une lésion inflammatoire de la peau à l'aide de frictions avec la pommade stibiée, il reconnut, chez un animal de la même espèce, que le chiffre de la fibrine s'était élevé de 1,4 pour 1000 à 4. L'expérimentateur allemand a répété sur des chevaux ces observations qui évidemment viennent à l'appui de l'opinion précédente. Quant à la proportion des globules, elle était diminuée, tandis que celle des matières grasses du sérum était très notablement accrue.

L'augmentation de la fibrine, dans les cas précédents, a pour conséquence à peu près constante la formation de la couenne, dite *couenne inflammatoire*.

En faisant l'histoire de la coagulation du sang, nous avons déjà eu occasion d'examiner, en dehors du travail phlegmasique, les conditions favorables ou défavorables à la production de la couenne (page 699), telles que la lenteur ou la rapidité de la *coagulation spontanée* du sang, la forme du vase dans lequel on reçoit ce fluide, le *volume du jet* (***) au sortir de la veine, le repos, la composition du plasma, etc. : ayant, de plus, fait connaître le mécanisme de la formation

(1) *Annales de chim. et de phys.*, 1840, t. LXXV.

(*) La fibrine ne paraît être qu'un premier degré d'oxydation de l'albumine. Ce qu'il y a de certain, c'est que, dans l'œuf des ovipares, la fibrine procède de l'albumine qui existe seule dans l'origine, et sa formation coïncide avec l'établissement de la respiration, c'est-à-dire avec l'absorption d'oxygène.

(**) Nous avons vu déjà que, dans la *grossesse*, la proportion de fibrine est un peu augmentée; et cette augmentation, au dire de quelques auteurs, ne serait point sans influence sur la facilité avec laquelle se développent les phlegmasies dans la période qui suit l'accouchement.
Dans la *chlorose proprement dite*, il y a aussi augmentation légère de fibrine.

(2) *Arch. für physiol. Heilkunde*, 1848, t. VII, p. 149.

(***) C'est par suite d'une erreur de rédaction qu'il a été dit ci-dessus (p. 700) que le jet de sang, quand il est rapide, gêne la formation de la couenne. La vérité est que le sang qui s'échappe de la veine par un jet effilé devient moins couenneux, toutes choses égales d'ailleurs, que celui qui en est sorti par une large ouverture et dans un temps très court.

de la couenne et la nature de ce produit qui n'est que de la fibrine coagulée à part, nous n'avons point à revenir sur toutes ces questions. Il nous reste à tâcher d'expliquer pourquoi ce phénomène, auquel on attache généralement tant d'importance dans le diagnostic et le pronostic des maladies, se manifeste de préférence dans les phlegmasies et dans d'autres états de l'organisme qui en sont bien distincts. Disons-le à l'avance, nous ne prétendons pas satisfaire à tous les *desiderata* d'un aussi difficile problème.

La formation de la couenne s'expliquerait-elle par la proportion même de fibrine, proportion plus grande, par exemple, dans le cas de phlegmasie qu'à l'état normal? Sans doute une pareille cause peut contribuer au phénomène; mais, de prime abord, on ne voit pas bien pourquoi, comme conséquence nécessaire, une portion de la fibrine se coagulerait *isolément*, de manière à donner ainsi naissance à ce produit fibrineux particulier qu'on désigne sous le nom de couenne inflammatoire. Serait-ce parce que, devenus relativement trop peu nombreux dans les phlegmasies, les globules ne sauraient plus suffire à remplir toutes les aréoles que forme la fibrine plasmique en se coagulant? Dans la chlorose, où il y a aussi élévation du chiffre de la fibrine, et surtout diminution notable des globules, on trouve en effet une couenne quelquefois aussi épaisse que dans les phlegmasies. Il en est de même pour le sang des animaux ou de l'homme qui ont été soumis à de fréquentes et abondantes saignées dans un laps de temps assez court; ce sang est aussi devenu pauvre en globules, mais relativement riche en fibrine que lui apporte incessamment la lymphe : or, ici encore l'observation a appris qu'un pareil sang devient ordinairement couenneux, et que même celui des dernières saignées fournit une couenne plus épaisse que celle du sang des premières. J'ajouterai que, dans la seconde moitié surtout de la grossesse, où la quantité proportionnelle de fibrine est accrue et celle des globules sensiblement diminuée, le liquide sanguin se recouvre habituellement de couenne; et qu'enfin le sang du cheval, qui est plus chargé de fibrine que celui de l'homme, est constamment couenneux dans l'état de santé. — Ainsi, l'augmentation de la proportion de fibrine et la diminution corrélative des globules nous semblent devoir être les deux principales conditions de la constitution du sang dans lesquelles s'observe le plus communément l'apparition d'une couche couenneuse, sans que nous osions affirmer que ce phénomène ne dépende point aussi d'autres causes très différentes. Mais la première de ces conditions paraît néanmoins être la plus importante et même pouvoir suffire à elle seule : qu'on veuille bien se rappeler, à ce propos, l'expérience que nous avons déjà citée (p. 700) d'après J. Müller, expérience qui prouve que les globules s'enfoncent plus vite dans un *plasma chargé de fibrine* que dans le sérum de *sang battu*, et partant, privé de ce principe. Descente rapide des globules dans les couches inférieures, avant que la coagulation de la masse sanguine ait eu le temps de se faire et d'empêcher leur chute en les emprisonnant, telle est la condition indispensable pour qu'un sang devienne couenneux. Or, nous venons de voir que cette condition se trouve réalisée surtout par la présence de la fibrine dans le plasma; aussi croyons-nous devoir admettre que la proportion de ce principe dans le sang a une influence incontestable sur la production de la couenne.

Plusieurs des exemples qui viennent d'être cités démontrent que la couenne, dite inflammatoire, peut survenir sans qu'il y ait absolument aucune trace de phlegmasie. Puisque nous l'avons vue se montrer à la surface du caillot des anémiques et des chlorotiques, à quels accidents funestes ne donnerait pas lieu celui

qui, ayant négligé l'étude de la coagulation de la fibrine, s'aviserait de saigner dans ces circonstances, à cause de la présence de la couenne, sous prétexte que ce produit fibrineux ne saurait se former sans une inflammation ? Chaque nouvelle émission sanguine ne manquerait pas de précipiter la diminution des globules; c'est-à-dire de la portion vivante du sang.

Pour expliquer l'apparition de la couenne, quelques observateurs ont admis que le sérum étant devenu moins dense, les globules s'y enfoncent plus facilement. Mais la précédente expérience de J. Müller milite déjà contre une pareille hypothèse qu'infirme aussi l'observation exacte de tous les cas où la densité du sérum est très diminuée, comme dans la fièvre typhoïde par exemple : dans cette affection, sauf complications, il n'apparaît jamais de couche couenneuse sur le sang.

L'augmentation de la fibrine constitue un bon moyen de distinction des inflammations franches et des *pyrexies*. Becquerel et Rodier (1) ont indiqué deux autres caractères des phlegmasies, savoir : l'augmentation de la cholestérine et la diminution de l'albumine. — Quoi qu'il en soit de ces derniers caractères, nous rappellerons qu'ayant analysé le sang : 1° dans le prodrome des fièvres continues, 2° dans les fièvres continues non typhoïdes, 3° dans la fièvre typhoïde, 4° dans les fièvres éruptives (variole, rougeole, scarlatine), 5° dans les fièvres intermittentes, Andral et Gavarret (2) ont conclu de leurs recherches : « que, dans aucun de ces cinq groupes de maladies, la fibrine ne présente d'augmentation de quantité, si ce n'est dans quelques cas de complication phlegmasique; que souvent, au contraire, *la fibrine diminue* soit d'une manière absolue, soit d'une manière relative; que les globules peuvent conserver leur état normal; mais que, dans un certain nombre de cas, ils augmentent suivant une proportion très remarquable et ne diminuent jamais que par le fait de circonstances dont l'influence vient se surajouter à celle de la maladie. »

Rappelons que, dans ces maladies, il y a généralement *absence de couenne* coïncidant avec le défaut d'augmentation ou avec la diminution de la fibrine. — Il suffit de mettre ces résultats généraux en parallèle avec ceux qu'a donnés le sang dans les phlegmasies, pour saisir tout ce qu'ils ont de différent.

Il existe, dans la science, des exemples fort remarquables d'altération du sang par *diminution de la fibrine*, avec fluidité excessive de cette humeur : de là une diathèse hémorrhagique fréquemment observée chez les différents membres d'une même famille. Les plus petites solutions de continuité donnent lieu, dans ces cas, à des écoulements de sang qu'on ne peut pas toujours tarir, et qui se terminent par la mort. D'autres fois ce sont des hémorrhagies spontanées par des muqueuses, comme la pituitaire, qui amènent une fin également funeste (*).

Le scorbut et le purpura hæmorrhagica ont été aussi rangés, par divers auteurs, dans les maladies où le sang est altéré par diminution de la fibrine, avec une trop

(1) *Traité de chimie pathologique, etc.* Paris, 1854, p. 106 et 112.
(2) *Mém. et Rec. cit.*

(*) Consultez plus particulièrement à ce sujet : NASSE et KRIMER, *Arch. für. med. Erfahr.*, von HORN, 1820, t. I, p. 385. — OSBORNE, *Dublin Journal of Med. Sc.*, 1835, t. V. — SYLVA, *Gaz. méd. de Paris*, 1838, p. 13. — A. TARDIEU, *Arch. gén. de méd.*, 1841, 3e série, t. XI. — HUGHES, *Amer. Journ. of the Med. Sc.*, 1842, p. 512. — DEQUEVAUVILLER, *De la disposition aux hémorrhagies, et des signes auxquels on peut la reconnaître* (*Journal de chirurgie* de MALGAIGNE, 1844, p. 164).

grande fluidité. Mais on est forcé de reconnaître que les mêmes discussions et les mêmes faits contradictoires se présentent pour l'une et l'autre de ces affections qui sont loin d'avoir donné des résultats identiques aux différents investigateurs. Plusieurs d'entre eux, par exemple, ont admis une augmentation de fibrine dans le scorbut (*), au lieu d'une diminution de ce principe.

On a prétendu que la transfusion, plusieurs fois répétée à l'aide du sang *défibriné*, provoquait les mêmes symptômes et les mêmes lésions organiques qu'on observe dans le scorbut.

Quant aux *globules du sang*, ils sont tantôt en excès, comme dans la *pléthore*, et tantôt ils offrent une diminution notable, comme dans la *chlorose* ou l'*anémie*.

Dans la pléthore, il importerait de ne pas confondre deux ordres de sujets fort différents : ceux qui, n'éprouvant aucun accident, se trouvent encore dans la limite physiologique, et ceux qui, l'ayant dépassée, se trouvent réellement malades. Or, c'est une distinction qui a été trop négligée par les expérimentateurs, comme le prouvent bien la différence et même l'opposition de leurs résultats. Quoi qu'il en soit, l'opinion la plus généralement admise aujourd'hui est celle d'Andral, qui attribue la pléthore à la surabondance des globules. Ses travaux ont fait voir qu'il n'est pas vrai que, dans cet état de l'organisme, le sang contienne notablement plus de fibrine que dans l'état physiologique. Ajoutons que le mot *pléthore* fait aussi naître l'idée d'une grande quantité de sang distendant tout le système vasculaire.

Au contraire, le mot *anémie* rappelle à la fois une quantité relativement petite de ce fluide et aussi un nombre de globules inférieur à ce qu'il est dans l'état normal. Cette dénomination correspond à un certain nombre d'états morbides assez mal définis que Bouillaud a distingués, au point de vue nosologique, en *anémie*, *hydrémie* et *chlorose*. L'expérimentation constate d'ailleurs, dans tous ces états, une altération identique du fluide sanguin.

Andral et Gavarret (1) ont trouvé, comme moyenne du chiffre des globules dans 16 cas d'anémie commençante, le chiffre 109 (**), et dans 24 cas d'anémie confirmée le chiffre 65 : c'étaient des anémies spontanées. Le chiffre le plus bas en globules était, dans ces cas, de 28. Becquerel et Rodier (2), dans leurs analyses fort nombreuses, ont confirmé tous les résultats obtenus par les deux précédents observateurs, et formulé cette conclusion : « La diminution de proportion des globules, caractérisant l'état général auquel on a donné dans ces derniers temps le nom d'*anémie*, s'observe fréquemment dans les maladies, soit comme caractère essentiel, soit comme complication, soit comme phénomène consécutif. »

Dans la *chlorose*, la diminution des globules paraît avoir été signalée, pour la première fois, par Le Canu (3). Le sang d'une chlorotique ne lui a donné que 55,15 de globules. « Par conséquent, dit Le Canu, ce fluide en contenait une quantité proportionnelle de beaucoup inférieure à celle que contient, terme moyen, le sang de femmes en santé, puisque, chez elles, nous avons trouvé cette moyenne égale à 115 millièmes. » La diminution des globules, chez les chlorotiques, a été

(*) Becquerel et Rodier, *Comptes rendus de l'Acad. des sciences de Paris*, 21 juin 1847. — Chatin et Bouvier, *ibid.*, février 1848. — Foltz, *American Journ. of Med. Sc.*, 1848.

(1) *Ouvr. cit.*

(**) On se rappelle que, pour ces observateurs, la *moyenne* des globules serait de 127 à l'état normal.

(2) *Ouvr. cit.*

(3) *Études chimiques sur le sang humain*, thèse inaug. Paris, 1837, n° 395, p. 113.

reconnue aussi par Andral et Gavarret (1), etc., qui ont constaté une élévation légère du chiffre de la fibrine. Enfin les chlorotiques, ayant moins de globules, ont nécessairement moins d'hématosine, et par conséquent moins de *fer* dans une quantité déterminée de sang. Il est, du reste, vraisemblable qu'on ne doit pas attribuer uniquement à cette perte de globules et de fer la maladie dont il s'agit. Il y a là encore d'autres modifications et d'autres causes qui restent à découvrir.

Les *émissions sanguines*, souvent répétées, amènent dans la composition du sang des changements analogues à ceux qu'on observe dans ce fluide chez les chlorotiques : elles diminuent l'abondance des globules, tout en déterminant dans la quantité de fibrine une augmentation bien supérieure à celle qui existe, d'après Andral et Gavarret, chez les personnes atteintes de chlorose.

On ne cite point d'état morbide en rapport avec une augmentation notable d'albumine dans le sang (*), tandis qu'il est des cas assez nombreux où l'on peut constater la *diminution de l'albumine :* il en est ainsi à la suite d'une diète prolongée, d'une alimentation insuffisante, et des diverses phlegmasies où au contraire la fibrine augmente. Il est surtout une classe de maladies, qui semble avoir des connexions assez intimes avec la diminution de l'albumine dans le sang : ce sont les *hydropisies.* Dans la maladie de Bright (albuminurie par affection granuleuse des reins), l'albumine s'en va par les urines, pendant que l'analyse démontre que c'est bien le sang qui l'a perdue, et quelquefois sans aucune altération de ses autres éléments constitutifs.

Chez l'homme, la proportion d'albumine dans le sérum est, terme moyen, de 70 pour 1000 parties de sang.

Le fait de la diminution de ce principe du sang, dans l'albuminurie, signalé par Christison (2), a été nettement établi surtout par Andral et Gavarret (3), puis par A. Becquerel et Rodier (4), Schmidt (5), etc. On a vu dans cette affection, le chiffre de l'albumine s'abaisser de 70 à 63, 61, 58 et même au-dessous de 44. Ce dernier chiffre a été obtenu par Schmidt dans un cas d'albuminurie compliquée d'hydropisie considérable. Il s'y joint souvent une diminution des globules, complication anémique, et cette fois sans que la fibrine augmente ; une complication d'inflammation élèverait à coup sûr le chiffre de la fibrine. — On retrouve aussi la diminution de l'albumine dans quelques autres hydropisies : ainsi, dans celle qui succède parfois à la scarlatine, Andral a toujours vu l'urine albumineuse; dans un cas où l'hydropisie était survenue, chez un sujet sain jusque-là, par un refroidissement subit, l'urine était pareillement albumineuse, etc. Les individus atteints d'une affection du cœur, avec une anasarque générale, offrent aussi une diminution d'albumine dans leur sang.

Après avoir passé en revue les altérations de composition du sang, soit par diminution, soit par exagération des *principaux éléments organiques* de ce fluide

(1) *Annales de chimie et de physique*, 1840, t. LXXV, p. 225.

(*) ANDRAL (*Hématol. pathol.*, p. 155 et suiv.) admet que l'albumine augmente *légèrement* dans la *chlorose*.

(2) *On the Granular Degeneration of the Kidneys*, 1839, p. 61.

(3) *Annales de chimie*, 1842, t. V, p. 317. — ANDRAL, *Hématol.*, p. 154.

(4) *Rech. sur la compos. du sang*, 1844, p. 110.

(5) *Charakteristik der epidem. Cholera.* Dorpat, 1850, p. 121.

(fibrine, albumine, globules), il nous reste à mentionner celles qui résultent de variations dans la proportion d'autres éléments constitutifs.

A côté des principes albuminoïdes, on trouve, à la fois dans le plasma et dans les globules, des *matières grasses* qui sont réputées être en plus grande proportion dans ces derniers. Elles comprennent des substances qui sont loin d'avoir les mêmes propriétés et une composition analogue : tels sont la séroline, la cholestérine, les acides margarique et oléique, les oléate et margarate de soude (savons du sang), la matière grasse dite phosphorée. On croit assez généralement que les graisses phosphorées sont confinées dans les globules, tandis que les précédents acides gras, puis la cholestérine et la séroline se trouvent en majeure partie, sinon en totalité, dans le plasma.

Il faut savoir tout d'abord que les matières grasses qui, sur 1000 grammes de sang, sont représentées environ par 2 à 3 grammes, peuvent s'élever, durant la période digestive, jusqu'à 12 et 18 grammes ; toutefois ce dernier cas ne s'observe que chez l'animal qui a surtout fait usage d'aliments gras.

On connaît la mission physiologique attribuée aux matières grasses, qui serait de contribuer, plus que toute autre substance, à produire et à conserver la chaleur animale : aussi les a-t-on considérées comme les principaux *aliments respiratoires*, et leur proportion exagérée dans le sang a-t-elle paru se lier à des affections dans lesquelles la combustion respiratoire était plus ou moins empêchée. Rayer (1) a rapporté un cas d'asphyxie par le charbon, où le sang laissait déposer à sa surface des gouttelettes d'apparence huileuse. Des exemples analogues de *sang laiteux*, ou avec excès de graisse, ont été recueillis chez des diabétiques, qui n'offrent habituellement que des phénomènes respiratoires incomplets (Marcet, etc.); surtout aussi chez des individus atteints d'ictère (Becquerel et Rodier) (*), de choléra grave (Fr. Simon).

Nous avons déjà dit que, d'après Becquerel et Rodier (2) l'augmentation de la *cholestérine* serait un des trois principaux caractères des phlegmasies, les deux autres consistant dans l'accroissement de la fibrine et la diminution de l'albumine. Dans ces cas, l'action comburante de la respiration s'atténuerait-elle ou s'exercerait-elle de préférence sur d'autres matériaux ?

Rappelons encore, en terminant, que les matières grasses, normalement contenues dans le sang, semblent exister surtout dans les globules, c'est-à-dire dans les parties vivantes de ce fluide sur lesquelles s'exerce plus spécialement l'action incessante de la respiration.

On a pu contester que la *glycose* (matière sucrée), qui résulte surtout de la transmutation des aliments féculents et sucrés, doive figurer au nombre des principes constitutifs *permanents* du sang, attendu que, dans l'état normal, elle paraît y être bien promptement détruite par l'oxygène que renferme ce liquide. Mais il n'en existe pas moins un état morbide particulier, le *diabète*, qui est caractérisé par la présence d'une quantité anormale de sucre dans le sang, quantité parfois

(1) *Revue médicale*, 1827, t. III, p. 528.

(*) Chez des oies, dont le foie avait subi la dégénérescence graisseuse, LEREBOULLET (*Mém. de l'Acad. de méd. de Paris*, t. VII, 1853) a trouvé le sang laiteux et recouvert de petites gouttelettes de graisse.

(2) *Loc. cit.*

assez considérable pour qu'on puisse obtenir cette matière sous forme cristalline. La détermination de ses proportions dans le sang des diabétiques est surtout due aux analyses d'Ambrosiani (1) et de Rees (2), bientôt confirmées par celles de beaucoup d'autres observateurs. Suivant Mialhe (3), le sang ne contiendrait plus, dans ces cas, la proportion d'alcali libre ou carbonaté sans laquelle l'oxygène ne saurait opérer la décomposition du sucre. De son côté, Bouchardat (4) affirme n'avoir pu trouver, dans le sang diabétique, une diminution notable des principes alcalins. Mais, en définitive, comme les boissons alcalines réussissent dans le diabète ainsi que dans la goutte, on a conservé la tendance à supposer qu'il doit y avoir là un développement plus marqué des principes acides de l'économie.

L'*urée*, produit excrémentitiel qui résulte de l'oxydation des matières albuminoïdes soit des tissus, soit du sang lui-même, et qui doit être compris parmi les éléments normaux de ce fluide, s'y trouve en faible proportion (0,018 pour 100 d'après Marchand et 0,016 selon J. Picard). Mais ce principe peut s'accumuler d'une manière anormale dans le sang, et donner naissance à l'affection qu'on désigne sous le nom d'*urémie*. Dans l'état physiologique, le sang se débarrasse de l'urée par la sueur, les sécrétions intestinales et surtout par l'urine. Aussi est-il rationnel de supposer que toute cause qui arrêtera le travail par lequel ce principe immédiat est ordinairement éliminé de l'organisme à mesure qu'il se forme, sera surtout capable d'en augmenter la proportion dans le sang. C'est ainsi que l'ablation des reins (Prévost et Dumas), la maladie de Bright ou affection granuleuse de ces organes (Christison, Rees, Babington, etc.), la néphrite aiguë (Romberg), la période fébrile terminale du choléra où la sécrétion urinaire est supprimée (O'Shaughnessy, Marchand, Schmidt, etc.), ont provoqué l'accumulation de l'urée dans le sang.

On sait que, d'après une théorie, défendue surtout par Frerichs (de Breslau), la source des principaux accidents de la maladie de Bright consisterait dans la rétention de l'urée dans le sang et sa conversion en carbonate d'ammoniaque : ce dernier produit se retrouverait alors à la surface de la muqueuse digestive et dans l'air expiré. Quoi qu'il en soit de cette théorie, il ne paraît plus douteux que de l'ammoniaque ne puisse, en certains cas (choléra par exemple), apparaître en faible proportion dans le sang, pour s'échapper ensuite par les voies pulmonaires.

Quant à l'*acide urique*, qui est regardé comme le produit d'un travail de combustion éliminatoire moins avancée que pour l'urée, et dont il faut sans doute rapporter l'origine surtout à une oxydation incomplète des vrais principes immédiats du sang, il a été rencontré en combinaison avec la soude, en proportion plus considérable que de coutume, aussi bien que l'urée, dans le sang des goutteux, dans celui des albuminuriques (5).

Le *chlorure de sodium* (sel marin) représente, comme on le sait, un des principes les plus importants du sang. Ses proportions, presque invariables, au dire de Liebig (6), paraissent à peine augmenter en raison de la quantité

(1) *Annali universali* d'OMODEI, 1835.
(2) GUY'S *Hospital Reports*, octobre 1838.
(3) *Bulletin général de thérapeutique*, 1849, t. XXXVI, p. 198.
(4) *Du diabète sucré* (*Mém. de l'Acad. de méd. de Paris*, 1851, t. XVI).
(5) MAZUYER, *Arch. génér. de méd.*, 1826, t. XI, p. 132. — GARROD, *Med. Chir. Transact.*, 1848, t. XXXV, et 1854, t. XIX.
(6) *Nouvelles lettres sur la chimie*, trad. franç., p. 181.

de sel ingéré par les aliments, le surplus s'échappant du corps par les fèces, les urines, la sueur, etc. « Cela, ajoute ce chimiste, semble indiquer dans les vaisseaux sanguins une action particulière qui s'oppose à la fois à la diminution et à l'augmentation du sel marin, puisque la proportion ne s'en élève pas au delà d'une certaine limite. » Les résultats obtenus par Becquerel et Rodier (1), par Plouviez et Poggiale (2), semblent tendre à détruire ce qu'il y a d'un peu absolu dans l'assertion du chimiste allemand, qui pourtant n'a pas posé de limites fixes. Par exemple, après une médication saline continuée pendant plusieurs mois, la proportion de sel marin dans le sang s'est élevée de 4,4 à 6,4 sans qu'aucun trouble se soit manifesté dans l'économie (Plouviez et Poggiale). Personne n'ignore que la suppression ou une notable diminution de ce principe salin, dans le régime, finit par amener une altération grave de la santé. Les symptômes de l'*anémie*, avec diminution de la proportion des globules et de l'albumine du sang, apparaissent bientôt (3). Dans les expériences de Plouviez et Poggiale, la proportion des globules hématiques s'est au contraire élevée, chez l'homme, de 130 à 143 sous l'influence d'une alimentation fortement salée et suffisamment prolongée. Rappelons d'ailleurs que les observations les plus exactes tendent à établir que l'abondance des globules rouges doit être regardée comme une condition de puissance vitale. Quand on considère que, sans cesse introduit dans le sang et mêlé à l'albumine, le chlorure de sodium concourt avec elle à prévenir la dissolution des globules sanguins, à favoriser au contraire la dissolution de certains éléments organiques et leurs métamorphoses en présence de l'oxygène, on comprend que cet élément du sang, auquel est confié un pareil rôle, doive se trouver dans un rapport jusqu'à un certain point invariable, même dans la plupart des maladies.

Quand le *phosphate de chaux* est notablement diminué dans le sang, par suite de sa suppression dans le régime, on voit les os s'amincir et devenir fragiles (Chossat). « Dans l'état morbide, disent Becquerel et Rodier (4), les variations que subit ce principe sont assez importantes, et l'on peut presque dire que c'est un des éléments du sang qui soit le plus influencé par les maladies. » A l'état physiologique, il varie entre 0,40 et 0,30, suivant ces auteurs; mais dans presque tous les cas morbides il devient plus abondant, et, dans l'anémie en particulier, il s'élève jusqu'à 0,54 ; dans la phthisie pulmonaire et dans la fièvre typhoïde à 0,49; dans la chlorose à 0,44, et dans la grossesse à 0,42. On s'explique facilement pourquoi le phosphate de chaux manque si souvent dans l'urine des femmes enceintes pendant les derniers mois de la grossesse : ce sel est alors transmis au fœtus par endosmose avec les autres matériaux nutritifs qu'apporte le sang maternel.

D'après Cahen (5), la proportion des *éléments alcalins* du sang est diminuée dans les maladies inflammatoires, tandis qu'elle est augmentée dans la fièvre typhoïde.

Rappelons ici, en passant, ce fait intéressant qui a été constaté par la plupart

(1) *Traité de chimie pathologique*, p. 65.
(2) *Comptes rendus de l'Acad. des sc. de Paris*, 1847, t. XXV, p. 112.
(3) Barbier, *Note sur le mélange du sel marin aux aliments de l'homme* (*Gaz. méd. de Paris*, 1838, p. 301).
(4) *Ouvr. cit.*, p. 68.
(5) *Recherches expérim. sur l'alcalinité du sérum du sang de l'homme*, Mém. lu à l'Acad. de méd. de Paris, dans la séance du 2 juillet 1850.

des chimistes, c'est que la presque totalité des sels à base de potasse se trouve dans les globules, tandis que la soude et ses sels sont quatre fois plus abondants dans le plasma que dans ces corpuscules ; qu'enfin les phosphates terreux, dont le sang des oiseaux de basse-cour est si riche, se rencontrent en plus grande proportion dans le plasma, et que la totalité du *fer* que le sang renferme appartient aux globules.

Il a été déjà question des *changements de proportion du fer* dans le sang à propos de la chlorose. On a vu ce principe minéral diminuer non-seulement dans cette affection, mais aussi dans les phlegmasies en général, la phthisie pulmonaire et l'anémie (1). La même remarque a été faite pour la grossesse.

La quantité d'*eau* contenue en moyenne dans le sang normal de l'homme peut être estimée de 780 à 800 pour 1000 grammes de sang, ou bien, en envisageant le sérum à part, de 880 à 900 pour 1000 grammes de sérum. C'est elle qui, non-seulement dans le plasma, tient en dissolution tous les matériaux solubles du sang, mais qui de plus, infiltrant la substance des globules, entre dans leur constitution intime. Or, dans les maladies, la quantité proportionnelle de l'eau du sang diminue bien rarement (dans certains cas de pléthore, d'ictère simple, surtout dans le choléra épidémique) ; au contraire, elle augmente fréquemment et beaucoup, d'après Becquerel et Rodier (2), surtout dans la diète prolongée, la privation absolue d'aliments, les pertes sanguines un peu notables, les flux considérables, les suppurations abondantes, les hydropisies intenses, les diarrhées prolongées, les sialorrhées considérables, l'intoxication paludéenne, l'intoxication saturnine, les diathèses cancéreuse et tuberculeuse.

Quant aux variations que peuvent présenter dans les maladies, sous le rapport de la quantité, les *trois gaz contenus dans le sang* (oxygène, acide carbonique, azote), la science n'a de données que sur l'acide carbonique (*). Il a été constaté que l'acide carbonique exhalé du sang, au lieu de varier entre 3 et 5 pour 100 (limites physiologiques), pouvait osciller entre 1 et 8 selon les états morbides. Dans le choléra, la proportion d'acide carbonique, dans la période algide, tombe de 10 à 20 pour 1000 de gaz inspiré, et revient peu à peu à 20, 25 et même 30, dans la convalescence (Doyère). La quantité d'acide carbonique expiré diminue dans la fièvre typhoïde, la rougeole, la variole, la scarlatine, et elle augmente dans le scorbut, le purpura, les accès de fièvre intermittente et les phlegmasies, à l'exception de celles qui gênent la respiration et la circulation (Hervier et Saint-Lager). Les femmes chlorotiques expireraient plus d'acide carbonique qu'à l'état normal (Hannover).

Ainsi, nul doute que les proportions de l'acide carbonique du sang ne puissent

(1) BECQUEREL et RODIER, *ouvr. cit.*, p. 69.
(2) *Ouvr. cit.*, p. 48.

(*) Consultez à ce sujet : ANDRAL et GAVARRET, *Rech. sur la quantité d'acide carbonique exhalé par le poumon dans l'espèce humaine*, Mém. communiqué à l'Acad. des sciences de Paris, dans sa séance du 13 janvier 1843. — HANNOVER, *De quantitate relativa et absoluta acidi carbonici ab homine sano et ægroto exhalati*. Haniæ, 1845. — P. HERVIER et SAINT-LAGER, *Recherches sur les quantités d'acide carbonique exhalé par le poumon à l'état de santé et de maladie*. Lyon, 1849, in-8. — RAYER, *Examen comparatif de l'air expiré par des hommes sains et les cholériques, etc.* (*Gaz. méd. de Paris*, 26 mai 1832, t. III, p. 277). — DOYÈRE, *Mém. sur la respiration et la chaleur humaine dans le choléra* (*Moniteur des hôpitaux*, 1854, t. II, p. 97).

varier dans certaines limites, dans l'état de maladie, mais ces limites sont loin d'être encore suffisamment précisées.

En terminant la précédente esquisse des variations de composition du sang dans les conditions pathologiques, je mentionnerai un état particulier de ce fluide sur lequel Virchow (1) et Bennett (2) ont, les premiers, appelé l'attention : je veux parler de la *leukémie* ou *leucocythémie*, espèce d'altération du sang qui consiste dans un accroissement de la proportion des globules blancs ou incolores. Il paraît résulter de recherches assez multipliées, entreprises dans cette direction par les pathologistes (*), que cette singulière modification du fluide sanguin se rencontre surtout, mais non exclusivement, chez des individus atteints d'hypertrophie de la rate ou des ganglions lymphatiques. Cet état du sang se traduit ordinairement par un affaiblissement général des forces, des accidents de chlorose, des bruits de souffle vasculaire, des hémorrhagies par les membranes muqueuses, une dyspnée plus ou moins intense, etc., le plus souvent suivis d'une terminaison fatale.

Nous n'avons à revenir ni sur les *différences de composition entre le sang veineux et le sang artériel*, ni sur celles qui existent dans le *sang veineux* lui-même *suivant les diverses parties du corps*. Cette double étude a été faite précédemment (pages 496-499) (**).

(1) *Archiv für path. Anat. und Physiol.*, 1853, t. I, p. 517 ; t. II, p. 587 ; t. V, p. 41.
(2) *Leucocythemia or white Cells Blood*, etc. Edinburgh, 1852.

(*) Consultez à ce sujet : Uhle (*Arch. für Path., Anat.*, etc., t. V, p. 476. — Griesinger, *même Recueil*, 1853, t. V, p. 391. — Heschl, *ibid.*, t. VIII, p. 353. — Lebert, *Gaz. hebdom. de méd. et de chir.* Paris, 1855, t. II, p. 525. — Vidal, *même Journal*, 1856, t. III, p. 99.

(**) Quant aux *différences de température* entre le sang des artères et celui des veines, ce n'est pas le lieu d'en parler : elles seront examinées dans une autre partie de cet ouvrage, à propos de la CHALEUR ANIMALE.

DE LA CIRCULATION.

I. — Il existe, dans les animaux et dans les plantes, un liquide particulier (fluide nutritif, sang, séve) agité d'un mouvement circulaire ou simplement oscillatoire qui lui permet de se reconstituer sans cesse et de distribuer aux diverses parties de l'organisme les matériaux de la nutrition.

Aux degrés inférieurs de l'animalité on ne trouve, chez certains êtres (Spongiaires, Infusoires astomes, etc.), qu'un parenchyme organique sans traces de vaisseaux, lequel, pour se nourrir, absorbe les fluides ambiants tant gazeux que liquides. Chez d'autres, dont l'organisation est un peu moins imparfaite, il y a une cavité digestive dans laquelle des cils vibratiles font mouvoir, sous forme de courants, le liquide digestif lui-même, qui de là passe directement dans un parenchyme encore dépourvu de vaisseaux, et peu à peu s'y infiltre. Mais, dans ces organismes inférieurs, aucune partie n'a encore des besoins propres et différents de ceux des autres parties; il y a diffusion, dans tout l'animal, des substances apportées du dehors et de celles qui doivent être excrétées. C'est seulement à mesure que des organes spéciaux se montrent et que les humeurs prennent des directions déterminées vers tel ou tel d'entre eux, qu'on voit naître des vaisseaux qui alors sont à la fois les réceptacles des produits absorbés en vue de la nutrition et les distributeurs de ces produits : on conçoit que, par exemple, quand l'absorption gazeuse vient à se séparer de l'absorption liquide ou alimentaire, des voies spéciales puissent devenir nécessaires pour transporter des organes digestifs aux organes respiratoires le produit liquide de cette dernière absorption.

C'est donc à des organismes complexes, dans lesquels le système vasculaire remplit aussi le rôle de régulateur du cours des fluides, qu'il faut s'adresser pour avoir l'idée d'une *circulation* parfaite, et pour étudier, dans son admirable mécanisme, ce mouvement incessant qui porte à chaque partie le fluide qui lui est nécessaire pour son accroissement, ses fonctions, sa vie individuelle.

Chez les animaux supérieurs, l'appareil vasculaire ou circulatoire, envisagé dans son ensemble (vaisseaux sanguins et lymphatiques), forme un système de canaux ramifiés, clos de toutes parts, et n'offrant, en aucun point de leur trajet, les moindres orifices appréciables. Par conséquent, d'une part, les fluides qui ont à pénétrer dans les voies fermées de la circulation, et d'autre part, ceux qui ont à en sortir pour les besoins des sécrétions et de la nutrition, ne le font qu'en passant à travers les parois vasculaires, c'est-à-dire à travers les filtres les plus fins qui se puissent imaginer.

En un point variable du précédent appareil existe un organe d'impulsion, le cœur, secondé dans son rôle par des moyens ou par des forces auxiliaires dont l'action a pour but une direction déterminée et constante du sang.

Prendre en différents *points de l'organisme les* matériaux du fluide nutritif,

transporter ce fluide au contact vivifiant de l'air, lui imprimer son mouvement vers les divers organes qui doivent trouver en lui les éléments de leur conservation ou de leur développement, tel est le but fonctionnel de l'appareil circulatoire.

Le mécanisme d'une portion de cet appareil nous est déjà connu : à propos du cours de la *lymphe* et du *chyle* (*), nous avons dû étudier les causes ou les forces qui, hors de la sphère d'action du cœur (les lymphatiques ne communiquant pas avec les artères), sollicitent ces deux liquides réparateurs du sang à une progression continuelle dans leurs vaisseaux propres (**). — Il nous reste donc à faire connaître le mécanisme de la circulation seulement dans le *système sanguin*.

Mais, avant d'arriver aux animaux supérieurs, il importera, pour se rendre compte des nombreuses variétés du précédent mécanisme, de jeter un coup d'œil sur les principaux types du système vasculaire, de mentionner les particularités les plus remarquables que ce système présente dans la série animale.

Cette dernière étude suivra immédiatement les *considérations générales et historiques sur la circulation* que nous croyons devoir exposer d'abord.

II. — Les médecins et les naturalistes de l'antiquité, même à l'époque où il leur fut permis de s'éclairer du flambeau de l'anatomie, restèrent dans l'ignorance du *mouvement circulaire* du sang. C'est qu'en effet l'appareil circulatoire n'est pas de ceux dont la seule inspection puisse révéler la fonction; bien plus, l'état du système vasculaire, sur le cadavre, devait presque nécessairement faire naître une illusion, et c'est ce qui arriva. Les artères, alors vides de sang et montrant leur cavité béante lorsqu'on les incise, parurent destinées à loger de l'air ou quelque esprit subtil, et le nom d'*artères* qui leur fut donné restera pour perpétuer le souvenir de cette erreur des premiers âges; les veines seules furent considérées comme des vaisseaux sanguins. Telle était l'opinion d'Hippocrate, d'Aristote, d'Hérophile, d'Érasistrate, etc., qui vivaient dans les IVe et Ve siècles avant l'ère chrétienne.

Au IIe siècle de notre ère, Galien (1) découvrit, à l'aide de vivisections, que les artères contiennent du sang, il reconnut même que ces vaisseaux communiquent avec les veines; mais, comme pour payer sa dette à l'erreur, il professa que les deux cœurs communiquent entre eux par de nombreuses ouvertures dont serait criblée la cloison qui les sépare.

La doctrine de Galien est celle-ci : du sang qui arrive dans le ventricule droit du cœur, une *partie* se rend par l'artère pulmonaire dans les poumons, et sa destination ne dépasse point ces organes; l'autre *partie* traverse la cloison interventriculaire par des trous à peine perceptibles sur le cadavre, mais qui sont beaucoup plus dilatés pendant la vie. Cette partie du sang, arrivée du ventricule droit dans le *ventricule gauche*, s'y combine avec l'*air* venu des poumons dans cette cavité, et, après la combinaison opérée, passe dans l'aorte et va se distribuer partout. — Préoccupés de l'idée que Galien avait connu la direction du cours du sang dans

(*) Voyez ci-dessus, page 429 et suiv.

(**) Comme autre source importante de réparation du sang, on ne doit pas évidemment oublier les matériaux organiques, solubles et alimentaires, que les *veines* elles-mêmes puisent si abondamment dans le tube digestif.

(1) *Opera omnia*, dans le traité intitulé : *An sanguis in arteriis naturâ contineatur ?* Paris, ; et aussi dans le traité *De usu partium*, lib. VI et VII.

les artères, ainsi que les relations qui existent entre les extrémités des systèmes artériel et veineux, qu'il avait même su que le sang, passé des artères dans les veines, est versé par les gros troncs de ces dernières dans les cavités droites du cœur, quelques historiens ont cru pouvoir soutenir qu'il était arrivé à découvrir la circulation, alors qu'il n'avait fait que répandre les germes de cette découverte dans plusieurs de ses admirables livres.

La vérité est que Galien ignora complétement le retour du sang du poumon dans les cavités gauches du cœur, et qu'il crut que les veines portaient le sang aux parties comme les artères. Suivant lui, parmi les organes, les uns se nourrissent de sang grossier (*veineux*), les autres de sang subtil ou spiritueux (*artériel*). Mais l'*esprit*, cette partie la plus pure du sang, ne se forme que dans le ventricule gauche; et pourtant, comme il faut même au sang veineux, pour qu'il puisse servir à la nutrition, une certaine proportion d'*esprit*, il faut donc aussi que les deux ventricules, celui de l'esprit et celui du sang veineux, communiquent ensemble : c'est ce qui a lieu, selon Galien, par les porosités de la cloison qui les sépare.

Pendant près de quatorze siècles, les opinions de Galien eurent une autorité inviolable, et l'on continua à admettre et à montrer au besoin les pertuis de la cloison interventriculaire. Vésale (1), à l'époque de la renaissance, fut le premier à prouver que cette disposition n'existe pas; mais, en même temps, il confirma l'assertion de Galien que les artères renferment du sang durant la vie. Il institua même des expériences dans le but de montrer que le cours du sang se fait, dans les artères, du cœur vers les extrémités; que ce mouvement est rapide, et que ces vaisseaux se remplissent et se distendent quand le cœur se contracte. Il reconnut que, dans une artère coupée, le mouvement du sang cesse au-dessous de la section, et qu'on peut l'y rétablir en mettant un tube à la place du morceau de vaisseau divisé. Vésale observa encore que, si l'on fait une ligature à une veine, la partie la plus proche du cœur s'affaisse. — Et néanmoins, contradictoirement à tous ces faits, il continua à supposer, avec les anciens, que le sang est porté du cœur dans tout le corps au moyen des veines. Nous verrons bientôt que G. Harvey fut plus heureux dans l'interprétation des mêmes faits.

A peu près à l'époque où Vésale établissait que la cloison médiane du cœur n'est point perforée et que le sang ne saurait se rendre ainsi d'un ventricule à l'autre, Michel Servet, dans un ouvrage théologique (2), indiquait nettement le passage du sang du cœur droit dans le cœur gauche *à travers les vaisseaux pulmonaires*. Il avançait que, du ventricule droit, le sang passe dans l'artère pulmonaire (*veine artérieuse*) et va se distribuer dans le poumon, non pour le nourrir, cas dans lequel ce vaisseau n'aurait point un tel volume, mais pour y être élaboré et purifié par un esprit qu'il reçoit de l'air respiré, et par l'exhalaison d'une matière fuligineuse qu'il expire. Servet soutenait également (et c'est ici surtout qu'il avait dépassé Galien) que le sang passe des divisions de l'artère pulmonaire dans les veines du même nom (*artères veineuses*), et de là dans le cœur gauche. Frappé par les changements que le sang subit dans les poumons, Servet a non-seulement décrit la véritable marche du sang d'un cœur à l'autre par ces organes, il a encore signalé le véritable lieu de la *sanguification*, de la trans-

(1) *De corporis humani fabrica*, lib. VI, cap. XV (*Opera omnia*, t. I, p. 517 et 519, édit. 1725).

(2) *Christianismi restitutio: De Trinit. divin.*, etc., lib. V, p. 169, ann. 1553.

formation du sang, du changement du sang noir en sang rouge : pour les anciens, le siége de la sanguification était dans le foie; Servet l'a placé, à juste titre, dans le poumon. « Le sang, dit-il, passe de la veine artérieuse (artère pulmonaire) dans le poumon et dans les artères veineuses (veines pulmonaires), par le même mécanisme qu'il passe de la veine porte dans le foie et la veine cave inférieure. » On ne pouvait faire un plus heureux rapprochement.

La circulation pulmonaire était donc trouvée, et Michel Servet, au milieu de controverses religieuses qui devaient lui attirer une fin si tragique (*), venait de conquérir un rang élevé dans la science.

Toutefois Servet n'avait, pour ainsi dire, que deviné ce phénomène compliqué et jusque-là impénétrable de la circulation pulmonaire. Son système, quoique vrai, n'était pas fondé sur l'expérience, et il lui eût été difficile de le soutenir, puisqu'il ignorait la force du cœur pour pousser le sang, et l'action de ses valvules pour diriger l'exercice de cette force.

Sans avoir pu connaître le livre de Servet, Realdo Colombo (1), en 1559, démontra le véritable usage des valvules du cœur, et décrivit derechef, presque en même temps que Cesalpino (2), la circulation pulmonaire. La description de Colombo est peut-être encore plus précise et plus lumineuse que celle qu'avait donnée Servet lui-même.

Quant à Cesalpino, qui avait été précédé par Servet et Colombo dans la connaissance de la circulation pulmonaire, il a de plus qu'eux la gloire d'avoir, le premier, conçu et défini la circulation générale, sans toutefois l'avoir suffisamment démontrée, ce qui bientôt devait être fait par le génie sévère et puissant de G. Harvey.

Charles Estienne (3) reconnut l'existence des valvules des veines, valvules mieux vues encore par Fabrizio d'Acquapendente (4); mais ni l'un ni l'autre ne conclurent de leur découverte à la direction centripète du cours du sang veineux. Cependant les *valvules* sont la preuve anatomique que le sang revient sur lui-même, c'est-à-dire qu'il circule.

Tel était l'état de la science quand Guillaume Harvey (5) publia, en 1628, son immortelle découverte de la circulation du sang.

On a pu dire avec raison que, quand ce grand homme parut, tout, relativement à la circulation, avait été indiqué ou soupçonné, et que rien n'était établi. Si, en effet, les éléments fondamentaux d'une solution du problème avaient été entrevus ou même trouvés, assurément il n'en restait pas moins une tâche fort difficile à accomplir : c'était de faire sortir d'un chaos de faits épars et confus, de raisonnements trop souvent contradictoires, un système simple et irrévocablement démontré. Cette tâche a été accomplie par G. Harvey.

Harvey commence par éclairer la route en écartant les erreurs de l'antiquité ; il décrit ensuite avec précision les mouvements du cœur dans un animal vivant ;

(*) A l'instigation de CALVIN, l'infortuné SERVET fut brûlé vif à Genève le 26 octobre 1553. L'ouvrage qui avait servi de prétexte à sa condamnation fut jeté dans le bûcher ; deux exemplaires seulement purent, dit-on, être conservés.

(1) *De re anatomica*. Venise, 1559, lib. VII.

(2) *Quæstionum peripateticorum*, lib. V, p. 125. Venise, 1593.

(3) *De dissectione partium corporis humani*. Paris, 1545, in-fol., libri tres.

(4) *De venarum ostiolis* (*Opera omnia anat. et physiol.*, édit. 1738, p. 150, pl. 1 à 8).

(5) *Exercitatio anatomica de motu cordis et sanguinis in animalibus*. Francofurti, 1628, in-4, cap. I, p. 20.

il montre sa structure musculaire, les contractions alternatives des ventricules et des oreillettes, l'effet qu'elles doivent avoir de chasser le sang avec force dans les artères, effet déterminé dans cette direction par le mécanisme des valvules cardiaques. Enfin il établit, sur des expériences nombreuses et admirablement interprétées, sa doctrine des deux circulations, *grande* et *petite*. — Aujourd'hui il serait superflu de rappeler tous les arguments dont G. Harvey a dû se servir pour étayer cette doctrine. Aussi ne ferons-nous qu'énoncer ici quelques-unes de ses preuves expérimentales, dont l'interprétation peut nous sembler facile aujourd'hui, mais contre laquelle néanmoins nous avons déjà vu échouer le génie du fondateur de l'anatomie moderne, de l'illustre Vésale.

Quand une artère est ouverte, dit Harvey, le sang en sort par jets inégaux, alternativement plus faibles et plus forts; mais toujours les plus forts coïncident avec la *diastole* de l'artère, due à l'entrée du sang dans sa cavité, et par conséquent avec la systole ventriculaire. — Sur un animal vivant, coupe-t-on une artère transversalement, le sang continue à jaillir par saccades de la portion du vaisseau restée en communication avec le cœur, tandis qu'il cesse bientôt de couler par le bout séparé de cet organe d'impulsion. — Lorsque le bras est lié, comme pour une saignée, les veines se gonflent au-dessous de la ligature, deviennent noueuses au niveau de leurs valvules et de leurs divisions. Si l'on refoule le sang en bas avec le doigt promené sur une veine, le sang pressé rétrograde, cette veine se gonfle de plus en plus et les nœuds de ses valvules sont de plus en plus marqués; au contraire, si l'on repousse le sang en haut, il passe librement. Il devient donc évident que les valvules veineuses, dont Harvey devait la connaissance à son maître Fabrizio d'Acquapendente, s'opposent au mouvement rétrograde du sang veineux, c'est-à-dire qu'elles ne permettent à ce fluide qu'un seul mouvement, celui qui porte le sang veineux des parties périphériques au cœur. — Quand une artère est oblitérée, le sang s'accumule entre le cœur et l'obstacle; c'est, au contraire, entre le point obstrué et les capillaires généraux que le sang s'amasse, s'il s'agit d'une veine : dans les artères, le sang coule donc du cœur vers les extrémités; dans les veines, des extrémités vers le cœur. — Vient-on à ouvrir une artère et à laisser couler le sang, tout le sang de l'animal sort par cette ouverture : en serait-il ainsi, s'il n'y avait un passage continuel de ce liquide du cœur aux artères, des artères aux veines, des veines au cœur, c'est-à-dire une vraie circulation? etc.

Nous bornant à ces citations, empressons-nous de reconnaître qu'à Guillaume Harvey revient incontestablement l'honneur d'avoir, le premier, *démontré* la circulation du sang, de s'être fait de cet admirable mécanisme une idée générale, précise, et d'avoir su découvrir la vérité sur un sujet qui, pendant si longtemps, avait exercé le génie des plus grands observateurs de l'antiquité et de la renaissance.

Quant aux nombreux adversaires que suscita à Harvey la publication de sa découverte, nous n'avons pas à nous en occuper ici : même avant la mort de ce grand homme, arrivée en 1657, la voix de la vérité s'était élevée plus haut que toutes leurs clameurs.

Pouvoir constater *de visu* le passage direct du sang des artères dans les veines eût été assurément un suprême bonheur pour Harvey. Ce bonheur était réservé à Malpighi (1), qui, vers 1661, examinant à l'aide du microscope le poumon et le

(1) *De pulmonibus epistola II* (*Opera omnia*, t. II).

mésentère d'une grenouille, put contempler le spectacle, si beau pour un physiologiste, de la circulation du sang dans les vaisseaux capillaires. Ainsi Malpighi montra aux yeux ce que Harvey avait montré à l'esprit.

A partir de ce moment, on ne fit plus guère que perfectionner l'étude anatomique du système circulatoire. La découverte des injections colorées dans les vaisseaux rendit cette étude plus facile, et, entre les mains de Ruysch et de Swammerdam, fournit de nouvelles démonstrations des commmunications que les capillaires établissent entre les systèmes artériel et veineux (*).

III. — Les progrès que la physiologie de la circulation allait faire dans des temps plus modernes devaient être d'un tout autre ordre. — On connaissait, il est vrai, le trajet circulaire du sang. Mais pourquoi voit-on ce fluide, chassé par le cœur d'une manière intermittente, être animé d'un mouvement continu et régulier dans les capillaires et dans les veines? L'expérimentation a appris que cette transformation du mouvement est un effet mécanique de l'élasticité des artères. — Comment aussi, avec un agent unique d'impulsion, alors que l'impulsion première reste sensiblement la même, voyons-nous telle partie du corps recevoir du sang tantôt plus et tantôt moins abondamment, se congestionner ou pâlir, s'échauffer ou se refroidir? Déjà le besoin d'explications entraînait les observateurs dans le champ trop souvent stérile des conjectures : la physiologie expérimentale est venue prouver que les influences nerveuses agissent pour la distribution locale du sang; elle a substitué à l'hypothèse du *molimen* et du *raptus* un fait réel, la *force contractile des parois vasculaires*, avec ses variations, et, dans ce nouveau genre de recherches, elle acquiert chaque jour des faits nouveaux dont elle donne la véritable interprétation. — Ces battements artériels, que les anciens expliquaient par une *vertu pulsifique*, ont été réduits aux lois mécaniques du mouvement des liquides, etc.

La circulation, qu'autrefois on étudiait d'une manière isolée, envisagée aujourd'hui dans ses rapports avec les autres fonctions de la vie organique, nous apparaît comme un lien commun qui les rattache les unes aux autres. Par exemple, que sous l'influence d'une excitation nerveuse il s'établisse une sécrétion, à titre d'*effet réflexe*, c'est par l'intermédiaire de la circulation que l'influence nerveuse excite la fonction de la glande, et, au moment où la sécrétion se produit, on voit le cours du sang, dans les petits vaisseaux relâchés, être à la fois plus rapide et plus facile; par le resserrement de ces mêmes vaisseaux, la circulation est-elle diminuée dans la glande, la sécrétion se tarit presque sur-le-champ. — Les centres nerveux, à leur tour, sont dans la dépendance immédiate de la circulation; car, si la proportion du sang qui leur arrive n'est pas constante, leur activité fonctionnelle variera dans le même rapport, et maintenant on admet qu'un grand nombre d'états paralytiques ou convulsifs passagers tiennent à un état, passager lui-même, de congestion ou d'anémie des centres nerveux, etc.

Il était naturel que, dans les travaux successifs sur la circulation, les pre-

(*) A propos de l'histoire de la découverte de la circulation du sang, consultez notamment: SÉNAC, *Traité de la structure du cœur, etc.*, 2e édit. Paris, 1777, t. I, p. 68-102. — PORTAL, *Hist. de l'anat., etc.*, t. II, p. 467. — KURT SPRENGEL, *Hist. de la méd.*, trad. franç., t. IV, p. 28; p. 85 et suiv. — A.-F. HECKER, *Arch. für die allgemeine Heilkunde*. Berlin, 1790, t. I. — LITTRÉ, *Introduct. aux Œuvres d'Hippocrate*, p. 202 et suiv. — P. FLOURENS, *Histoire de la découverte de la circulation du sang*. Paris, 1854.

mières études fussent dirigées vers l'organe d'impulsion du sang, et que les usages de cet organe fussent les premiers connus. L'inspection attentive du cœur, dont les mouvements sont si apparents, la disposition de ses valvules qui révèle leur mécanisme, devaient aussi conduire à la connaissance du circuit harvéien, bien avant qu'on soupçonnât l'existence de la *contractilité des petits vaisseaux*, comme moyen régulateur du mouvement du sang dans les organes. Cette dernière découverte ne pouvait se faire que par suite des progrès accomplis à la fois dans l'étude de l'histologie et dans celle des fonctions du système nerveux.

Aujourd'hui les idées sur la circulation ont donc dû se modifier. Le cœur, s'il demeure l'organe central de la circulation, a perdu de l'importance trop exclusive qu'on lui accordait : dans les conditions ordinaires, il paraît doué d'une force sensiblement constante, et puisque alors le cours du sang dans les organes n'a pas toujours la même activité, il faut donc bien chercher la cause de ce phénomène dans les parties périphériques du système circulatoire ; dans les différentes résistances qu'éprouve le sang à traverser les tissus, sous l'influence de la contractilité vasculaire, propriété qu'on sait influencée elle-même par le système nerveux. C'est dans cette direction qu'ont été instituées des recherches encore toutes récentes qui sont venues éclairer d'un nouveau jour l'histoire des *sécrétions* et de la *chaleur animale*.

Du reste, combien d'autres questions n'ont pas dû être abordées ou reprises, après la mémorable découverte d'Harvey, et quels efforts la science n'a-t-elle pas dû faire dans le but de combler les *desiderata* d'une pareille œuvre ! — Évaluation de la force du cœur ; analyse approfondie des mouvements et des bruits de cet organe ; examen de sa prétendue omnipotence dans la circulation ; mesure de la rapidité du cours du sang et des différences de vitesse que ce fluide peut offrir dans son trajet ; influence des mouvements respiratoires et du système nerveux sur la circulation ; causes et effets des changements de vitesse du sang dans les vaisseaux capillaires, etc., ne sont-ce pas là autant de problèmes légués par Harvey à ses successeurs ? Nul doute que, depuis le physiologiste anglais, en dépit de beaucoup de travaux sans avenir et d'hypothèses sans valeur, l'histoire de la circulation ne se soit perfectionnée et enrichie d'un grand nombre de faits nouveaux qu'il nous faudra examiner au fur et à mesure que nous avancerons dans l'étude de cette fonction, étude d'ailleurs si féconde en applications à la science médicale.

CIRCULATION DANS LA SÉRIE ANIMALE.

Nous avons dit déjà qu'au bas de l'échelle zoologique il y a des animaux formés par un parenchyme organique sans traces de vaisseaux, et que c'est seulement à mesure qu'apparaissent des organes spéciaux ou que les humeurs prennent des directions déterminées, qu'on voit se développer un système plus ou moins complet de canaux destinés à contenir le fluide nourricier ; nous avons dit encore que l'appareil circulatoire, qui va se compliquant de plus en plus, finissait, chez les animaux supérieurs, par se composer de deux systèmes continus et distincts : le système sanguin et le système lymphatique.

L'absorption, ou pénétration du dehors au dedans de liquides et de fluides élastiques, est le *premier terme de l'échange continuel* et nécessaire qu'entretient *tout être vivant avec les choses du dehors*. Or, nous venons de le voir, la

forme vasculaire n'est point une condition indispensable à l'accomplissement de cet acte fondamental, puisque certains êtres inférieurs, absolument dépourvus de vaisseaux, absorbent par la périphérie de leur corps les fluides, tant gazeux que liquides, dans lesquels ils sont plongés, et finalement s'en nourrissent et vivent. Les spongiaires, qui constituent la dernière classe des ZOOPHYTES, sont dans ce cas ; il en est de même des infusoires astomes.

Chez d'autres zoophytes, dont l'organisation est un peu moins imparfaite, et qui, encore privés de voies vasculaires, sont munis de cavité digestive, on voit l'eau arriver directement du dehors dans cette cavité et ses divisions : là, des cils vibratiles font mouvoir ce liquide chargé de matériaux alimentaires que le travail digestif modifie quelque peu, et qui bientôt doivent s'infiltrer de proche en proche dans la trame organique La cavité digestive et ses prolongements, l'eau chargée de matières assimilables, représentent donc ici à la fois le canal alimentaire, l'appareil circulatoire et le sang des animaux supérieurs.

Ce caractère d'infériorité physiologique tend bientôt à disparaître, notamment dans les acalèphes : une sorte de séparation s'établit entre la portion gastrique proprement dite de la cavité digestive et sa portion irrigatoire. La première devient plus spécialement chargée de l'élaboration des matières alimentaires, et constitue un estomac assez bien délimité, tandis que la portion périphérique devient inapte à recevoir des matières solides d'un volume un peu considérable, et ne laisse passer que les liquides plus ou moins nourriciers qui ont été préparés dans la cavité digestive (1). La délimitation entre la portion digestive et la portion irrigatoire de ce système de cavités se prononce de plus en plus dans l'équorée violacée de la Méditerranée, chez les bérénices, les méduses, les aurélies, etc., d'après Milne Edwards (2) : la portion irrigatoire ou périphérique du système gastro-vasculaire affecte la forme de canaux étroits, propres seulement au passage de l'eau plus ou moins chargée de matières nutritives, et constitue un appareil vasculaire qui se développe surtout chez les aurélies et les béroés proprement dits. Dans ces derniers, qui sont d'une si grande transparence, Milne Edwards (3) a eu souvent occasion de constater l'existence de courants rapides, et d'y reconnaître une véritable circulation du fluide nourricier, marquée par le déplacement des globules que ce fluide tient en suspension. Mais l'estomac reste encore ici le réservoir central de l'appareil irrigatoire, et le liquide nourricier commence à circuler dans un double système de canaux communiquant avec cette cavité, c'est-à-dire que la distinction des rôles entre les canaux efférents et afférents au précédent réservoir commence à s'établir. Quant à la cause qui donne l'impulsion au contenu liquide de l'appareil gastro-vasculaire des aurélies et des béroés, les uns la rapportent, avec Ehrenberg (4), à des contractions péristaltiques de la membrane dont les canaux gastro-vasculaires sont tapissés, et les autres, avec Milne Edwards (5), la font dépendre du rôle actif des cils vibratiles.

Chez les *polypes* proprement dits, on voit se produire, dans l'appareil qui nous occupe, les principales formes signalées précédemment ; et, en effet, la digestion

(1) MILNE EDWARDS, *Leçons sur la physiol. et l'anat. comp., etc.*, t. III, p. 55. Paris, 1858.
(2) *Loc. cit.* — Et *Observations sur la structure et les fonctions de quelques zoophytes, etc.* (*Ann. des sc. nat.*, 1841, t. XVI, p. 196).
(3) *Rec. et Mém. cit.*
(4) *Ann. des sc. nat.*, 2e série, t. IV, p. 295.
(5) *Loc. cit.*

tend à se localiser de plus en plus dans une cavité, tandis que les autres compartiments, ramifiés et garnis de nombreux cils vibratiles, sont plus spécialement en rapport avec le fluide nourricier, auquel ils impriment son mouvement. Dans les alcyoniens, par exemple, il paraît même exister un système vasculaire non-seulement dans les parois du corps, mais encore dans celles de l'estomac; les vaisseaux qui constituent ce système ne sont pas de simples canaux creusés dans le parenchyme, ils ont des parois propres, et le liquide qui circule dans leur intérieur renferme un grand nombre de globules blancs.

Quant à la nature du liquide qui se meut à l'intérieur des polypes, si l'on considère le phénomène comme une véritable circulation, le liquide serait analogue au sang, et les corpuscules qu'il renferme seraient assimilables aux globules sanguins. Mais ce qui milite contre cette opinion, suivant Siebold et Stannius (1), c'est la présence d'un vrai système vasculaire sanguin chez l'alcyonium, les actinies, et peut-être encore chez beaucoup d'autres espèces. Il y aurait donc plutôt lieu de comparer le liquide en question au chyle, qui de l'estomac passerait dans la cavité du corps. L'opinion d'après laquelle ces courants constitueraient une circulation sanguine se concilie difficilement avec cette circonstance, que les anthozoaires peuvent à volonté évacuer à travers leur estomac le contenu de ce prétendu système vasculaire sanguin, et le délayer, par la même voie, avec l'eau qu'ils avalent. Il faudrait ainsi revenir à l'hypothèse que la cavité du corps, et les canaux avec lesquels elle communique, constituent un véritable *système vasculaire aqueux*, qui aurait pour but d'établir une respiration dans laquelle toutes les parties internes, chez les anthozoaires, seraient baignées par de l'eau sans cesse renouvelée. Le renouvellement de l'eau étant effectué ici par l'introduction et l'expulsion alternative de ce liquide à travers l'estomac, cela n'empêche pas que des matériaux assimilables ne soient aussi entraînés dans le système vasculaire aqueux.

Un appareil circulatoire, digne d'être mentionné particulièrement, existe chez tous les zoophytes supérieurs qu'on désigne sous le nom d'*échinodermes*, tels que les holoturies, les astéries et les oursins. La cavité viscérale ou générale de leur corps avec ses dépendances (qui est devenue distincte de la cavité digestive) contient un liquide ne paraissant différer en rien du sang blanc ou incolore d'autres invertébrés plus élevés en organisation; sans doute il remplit aussi des usages analogues. Les recherches de Quatrefages (2) sur la constitution du liquide cavitaire tendent en effet à démontrer que c'est un suc nourricier en tout comparable au sang que, plus tard, nous verrons remplir aussi la cavité générale du corps chez les animaux articulés et les mollusques. La cavité qui, chez les échinodermes, loge le précédent fluide, ainsi que les organes de la génération et l'appareil digestif, est tapissée à son intérieur par une membrane mince, rappelant les tuniques séreuses, et munie de cils vibratiles qui contribuent à déterminer les courants du liquide cavitaire. Il existe encore quelques doutes sur la question de savoir si, dans les échinodermes, le système vasculaire sous-cutané, dit aquifère, est indépendant du système vasculaire viscéral. Toutefois on ne peut s'empêcher de reconnaître que dans la cavité viscérale, dans les vaisseaux propres du tube digestif et de ses annexes, et aussi dans les canaux sous-cutanés, les liquides qui s'y trouvent n'offrent point de différences essentielles, qu'ils semblent propres à l'entre-

(1) *Anat. comp.*, trad. franç. Paris, 1850, t. I, p. 43.
(2) *Mém. sur la cavité du corps des invertébrés* (*Ann. des sc. nat.*, 1850, t. XIV, p. 302).

tien de la nutrition, et que, partant, ils méritent également d'être désignés sous le nom de *sang*.

Quoi qu'il en soit, une impulsion est communiquée à ces liquides par un ou plusieurs organes centraux contractiles, rudiments de cœur; cela s'observe du moins dans quelques espèces de crinoïdées, d'astéroïdes et d'échinoïdes. Le système vasculaire des holothuries, quoique très apparent, n'offre aucune disposition qui rappelle le cœur le plus rudimentaire.

Dans l'embranchement des MOLLUSQUES, la cavité générale du corps ou viscérale (*) est parfaitement distincte du tube digestif. Elle est remplie d'un fluide nourricier en mouvement qui baigne à la fois l'appareil digestif, les muscles et les autres organes, avec tous leurs interstices ou lacunes. Ici ce ne sont plus les canaux vasculaires qui restent chargés du double rôle de contenir ce fluide et de lui imprimer un mouvement oscillatoire ou circulaire. Un organe moteur particulier, un *vrai cœur* contractile et musculaire, apparaît : d'abord simplement tubuleux et recourbé en forme d'anse dans les espèces les plus inférieures (molluscoïdes), bientôt il se ramasse et se concentre davantage pour devenir globuleux.

A propos de cette première apparition d'un véritable cœur, notons que, chez les invertébrés qui en sont pourvus, cet organe reçoit toujours du sang artériel qu'il pousse dans les vaisseaux chargés de le porter à toutes les parties du corps. Au contraire, nous verrons que, chez les vertébrés, le cœur a pour fonction constante d'envoyer directement le sang à l'appareil respiratoire, et qu'il n'est en rapport direct avec le système artériel général qu'à mesure qu'il se perfectionne. En d'autres termes, la partie essentielle du cœur, dans un animal vertébré, celle qui ne manque jamais, est le ventricule veineux, par exemple : c'est le seul qui existe chez les poissons. Le ventricule gauche n'apparaît que dans des organismes plus élevés où le sang, à sa sortie de l'appareil respiratoire, avait besoin de recevoir une impulsion nouvelle pour parvenir aux divers organes.

Chez les mollusques (qui tout d'un coup viennent de nous offrir un perfectionnement notable dans l'appareil circulatoire), le cœur, composé ordinairement de deux oreillettes et d'un ventricule, est *aortique*, au lieu d'être *pulmonaire* comme chez les poissons. Placé sur le parcours du sang artériel, cet organe reçoit dans ses oreillettes le sang venu de l'appareil respiratoire; puis ce fluide est versé dans le ventricule unique qui le pousse dans une ou deux aortes se ramifiant dans toutes les parties de l'organisme. Les veines qui reviennent de ces parties recomposent un tronc qui se ramifie à la manière d'artères dans l'organe respiratoire (branchies ou poumons) : c'est à cette portion de l'appareil circulatoire, désignée sous le nom d'artères pulmonaires ou de veines portes branchiales, que font suite des veines qui, analogues aux veines pulmonaires des mammifères, ramènent le sang aux oreillettes, et complètent ainsi le cercle dans lequel le sang se meut. A la base des organes de la respiration et sur le trajet des veines portes branchiales ou pulmonaires, il existe, chez les céphalopodes, des espèces de cœurs (cœurs branchiaux) tout à fait distincts du ventricule aortique; alors les oreillettes manquent. Comme les mammifères et les oiseaux, les céphalopodes possèdent donc un cœur avant et après l'organe respiratoire : toutefois, chez les céphalopodes, ces cœurs sont isolés au lieu d'être réunis.

(*) *Abdomen* des animaux supérieurs.

Si le système artériel est, en général, bien développé chez les mollusques, le système veineux est toujours plus ou moins incomplet et quelquefois manque entièrement, de sorte que le sang ne revient des diverses parties du corps vers les organes respiratoires qu'en traversant les lacunes ou espaces existant entre les divers organes. Il est aussi à noter que la cavité abdominale, dans laquelle sont logés tous les viscères, est toujours traversée aussi par le sang veineux.

A propos de cette disposition singulière, qu'on retrouve chez d'autres invertébrés que les mollusques, et sur laquelle Milne Edwards (1) et de Quatrefages (2) ont les premiers répandu la lumière, nous croyons devoir entrer dans quelques détails.

De Quatrefages (3) a désigné sous le nom de *phlébentérisme* une disposition anatomique du tube digestif, bien marquée spécialement chez certains mollusques gastéropodes, disposition caractérisée d'ordinaire par des prolongements plus ou moins ramifiés et d'apparence vasculaire : d'où il résulte, suivant cet observateur, 1° que les sucs alibiles, produits par la digestion, sont transportés directement dans divers points du corps et souvent jusque dans la profondeur des organes respiratoires, sans passer par un système circulatoire proprement dit ; 2° que l'action de l'air sur ces mêmes produits se trouve ainsi facilitée.

Chez les vertébrés, comme le rappelle de Quatrefages, le sang veineux reçoit par les chylifères et les lymphatiques les sucs nourriciers extraits des aliments, et les produits d'une sorte de sécrétion interstitielle qui lui arrive de tous les points du corps. Or, chez les invertébrés, on ne trouve ni chylifères ni vaisseaux lymphatiques : chez la plupart d'entre eux, les produits de la digestion et ce qui représente la lymphe passent immédiatement dans la *cavité générale du corps*, et se mêlent au liquide que renferme cette cavité. De là, chez les invertébrés, une importance physiologique très grande dévolue à cette cavité et à ce liquide. — Chez ceux d'entre eux dont le cercle circulatoire est incomplet (*crustacés*, *mollusques*), et où par conséquent le sang s'épanche librement dans toute la cavité générale, ce liquide n'est autre chose que le sang lui-même, mêlé à tous les produits de la digestion et de la sécrétion interstitielle.

Ces produits, avant de devenir aptes à la nutrition des organes des vertébrés, ont besoin de subir, au moins en partie, l'action vivifiante de l'air. Il en est de même chez les invertébrés. Lorsqu'il existe chez ces derniers un appareil respiratoire spécial, l'accomplissement de ce phénomène est des plus simples, et se passe comme dans les vertébrés : les crustacés, les mollusques ordinaires nous en fournissent un exemple. Mais, lorsque l'appareil respiratoire proprement dit s'altère ou disparaît complétement, la ramification de l'intestin conduit au même résultat, suivant de Quatrefages, ou tout au moins le facilite en rapprochant la surface d'où suintent, pour ainsi dire, les sucs nourriciers, de la surface en contact avec l'eau aérée où s'accomplit l'acte respiratoire. Les lois purement physiques de l'endosmose suffisent pour prouver que le *chyle* doit nécessairement commencer à s'hématoser dans les pattes des nymphons, dans les appendices dorsaux des éolides, etc., au sortir même du cæcum gastro-vasculaire. En effet, dans ces pattes, dans ces appendices, l'*eau aérée*, le *sang* et le *chyle*, c'est-à-dire *trois*

(1) *Observations sur les Ascidies* (*Mém. de l'Acad. des sc. de Paris*, t. XVIII ; et *Comptes rendus de la même Acad.*, *1839*, *t. IX*, *p. 591*).
(2) *Mém. sur l'Eolidina* (*Ann. des sc. nat.*, 2e série, 1843, t. XIX, p. 190).
(3) *Annales des sciences naturelles*, 3e série, t. IV, p. 83.

liquides de composition et de densités différentes, ne sont *séparés* les uns des autres que par de *minces membranes*.

Ainsi la ramification plus ou moins complète du tube digestif concourt à transporter les sucs alibiles sur divers points du corps : là ces sucs subissent sur place l'action de l'air ; par conséquent, ils deviennent *immédiatement* propres à l'entretien des organes. Telles sont, en peu de mots, les conséquences physiologiques que de Quatrefages croit être le résultat de la disposition anatomique des organes alimentaires chez les animaux *phlébentérés*.

Le phlébentérisme, tel qu'il a été défini plus haut, est un fait général aux yeux de cet observateur : il constitue l'organisation normale des zoophytes, des acalèphes, etc. ; dans la plupart des autres classes des invertébrés, à côté des échinodermes ordinaires, des vers ordinaires, des crustacés ordinaires, etc., on trouve des échinodermes, des crustacés et des vers phlébentérés. Ainsi, en définitive, presque tous les types d'invertébrés auraient leurs *dérivés phlébentérés*. Ce serait une application de plus d'une des tendances les plus générales de la nature, qui semble se plaire à modifier, par les mêmes procédés, des types primitifs souvent très dissemblables, et à donner ainsi naissance aux analogues zoologiques, aux termes correspondants.

On sait que ces travaux et ces opinions ont été l'objet de critiques fort nombreuses et fort vives (*), dans lesquelles on a prétendu notamment que leur auteur regardait l'*absence du cœur* comme propre à tout le groupe des phlébentérés, et que toutes ses idées sur le phlébentérisme reposaient sur cette croyance. Or, comme le fait observer de Quatrefages, il avait déjà, trois ans avant toute controverse, décrit et figuré cette portion de l'appareil vasculaire, ainsi que les artères chez divers phlébentérés (**), avec plus de détails que ne l'ont fait, depuis, la plupart de ses contradicteurs eux-mêmes. C'est à tort, en effet, que ces derniers ont affirmé que, par le mot *phlébentérisme*, ce savant naturaliste avait voulu désigner soit l'absence *totale* de l'appareil circulatoire, soit la substitution anatomique de l'appareil digestif à l'appareil circulatoire, soit la communication de ces deux appareils entre eux, etc. ; car lui-même n'a cessé de protester contre ces interprétations, tout en avouant hautement certaines erreurs qu'il avait d'abord commises.

Toujours est-il qu'on ne saurait lui contester le mérite d'avoir contribué, dans cette question, à faire connaître des résultats généraux qui sont aujourd'hui acceptés par la majorité des naturalistes. Parmi ces résultats, nous nous bornerons à rappeler les suivants :

Et d'abord, comme conséquence de l'état plus ou moins imparfait de l'appareil

(*) Voir à ce sujet : SOULEYET, *Comptes rendus de l'Acad. des sc. de Paris*, t. XIX, p. 355, 929 ; t. XX, p. 73, 238, 862 ; t. XXII, p. 473 ; t. XXX, p. 848, 924.

SOULEYET a eu surtout le mérite d'avoir très bien décrit le système de *canaux branchio-cardiaques* qui, chez les Éolidiens, ramène le sang des organes respiratoires au cœur.

CH. ROBIN, *Mém. de la Soc. de biol.*, 1851, t. III.

(**) C'est ainsi que, chez l'*Eolidine paradoxale*, en s'occupant de l'appareil circulatoire, il a décrit le cœur, l'aorte et les premières divisions artérielles ; mais il déclare n'avoir point vu de veines, et s'être assuré, par des observations très répétées, que les lacunes jouent ici, comme chez les crustacés, le rôle du système veineux. Le sang, en sortant des artères, s'épanche dans les interstices de tous les organes, et le liquide qui remplit la cavité viscérale tout entière n'est autre chose que le sang lui-même, lequel baigne directement les organes. Il est vrai que, d'autre part, de QUATREFAGES avait cru trop facilement au manque de cœur chez certaines espèces, chez les zéphyrines, les tergipédiens et les actéons. Mais cette erreur, car c'en est une, s'explique par l'état de la science à l'époque où parurent ses premiers travaux.

circulatoire, chez les gastéropodes phlébentérés, le sang tombé dans les lacunes baigne tous les organes intérieurs. Ce fait, qu'on avait nié et déclaré contraire à tous les principes, a été depuis démontré vrai non-seulement pour les gastéropodes phlébentérés, mais encore pour tous les mollusques. Cette démonstration résulte surtout des travaux de Milne Edwards et Valenciennes (1), et de ceux de Rich. Owen, Nordmann, Siebold, Van Beneden, etc. — L'appareil gastro-vasculaire de l'*éolide* de Cuvier, par exemple, peut être injecté par la bouche jusqu'à l'extrémité des cirrhes (de Quatrefages) ; d'où la conclusion qu'une partie des aliments doit pouvoir pénétrer dans l'intérieur de cet appareil. Du reste, Hancock et Embleton (2) ont constaté directement l'introduction des matières alimentaires dans l'appareil gastro-vasculaire de l'éolide, à l'état vivant, après avoir eu connaissance de toutes les discussions soulevées sur ce sujet. Siebold et Stannius (3), ainsi que plusieurs autres naturalistes, n'hésitent point à adopter l'interprétation anatomique donnée d'abord par Milne Edwards (4), puis par de Quatrefages, à savoir : qu'ici les cæcums qui pénètrent dans les appendices, les troncs d'où ils partent, sont une sorte de *prolongement de l'estomac*, un *appareil gastro-vasculaire*, analogue à celui qu'on trouve chez les planaires, par exemple. — Quant à la question physiologique, elle semble résolue par cela même dans le sens qui précède. — Enfin, pour ce qui est de l'absence totale de *veines proprement dites* et à parois propres, elle ne paraît pas pouvoir être contestée chez les mollusques : Milne Edwards (5) l'a constatée chez l'aplysie, Rich. Owen (6) chez les térébratules, et de Quatrefages (7) chez les tarets. Siebold (8) s'est également convaincu de l'absence de veines à parois propres chez l'agrion, et Moquin-Tandon (9) a observé directement la circulation du fluide nourricier dans la cavité abdominale des planorbes, ainsi que la manière dont les viscères y baignent.

On a dit qu'à cet état anatomique on avait eu tort d'attacher une idée de dégradation : la nature, a-t-on répété, le réalise trop souvent et chez un trop grand nombre d'animaux pour qu'il ne réponde pas à quelque finalité ; il existe non-seulement chez certains mollusques, mais aussi, et à un haut degré de développement, dans les raies, dans les lamproies, chez les articulés, et notamment chez les insectes ; bien plus, il se montre dans l'espèce humaine du côté de l'utérus lors de la grossesse (*sinus utérins*), sans constituer là évidemment un état de dégradation pour cette espèce. A cela on peut répondre que l'idée de faire parmi les mollusques un groupe *dégradé* ne se rattachait pas exclusivement au précédent état anatomique, mais encore à ce qu'on y voyait les artères se simplifier et se réduire parfois à un tronçon d'aorte : cette dégradation du système artériel a été retrouvée, depuis les recherches de Quatrefages, chez les patelles et les haliotides par Milne Edwards (10), et chez les oscabrions par E. Blanchard.

(1) *Nouvelles observations sur la constitution de l'appareil circulatoire chez les Mollusques* (*Annales des sc. nat.*, 3e série, t. III, p. 307).
(2) *The Ann. and. Mag. of Nat. Histor.*, t. XV, p. 1 et 77, avec cinq planches.
(3) *Anat. comp.*, trad. franç. de Th. Lacordaire et Spring. Paris, 1850, t. I, p. 319.
(4) *Annales des sc. nat.*, 2e série, t. XVIII, p. 350.
(5) *Voyage en Sicile*, t. I, p. 23.
(6) *On the Anat of Terebratula* (Davidson's *Bristish fossil Brachiopoda*, p. 15).
(7) *Ann. des sc. nat.*, 3e série, 1849, t. XI.
(8) *Anat. comp.*, trad. franç., t. I, p. 325 et 326.
(9) *Observ. sur le sang des Planorbes* (*Ann. des sc. nat.*, 1851, t. XV, p. 149).
(10) *Mém. sur la dégradation des organes de la circulation chez les Patelles* et les Haliotides (*Ann. des sc. nat.*, 3e série, t. VIII, p. 37).

Dans la classe des CRUSTACÉS, l'appareil de la circulation présente les dispositions principales de celui des mollusques, et le sang suit la même marche. La circulation est semi-vasculaire et semi-lacunaire.

Le cœur des crustacés, composé seulement d'un ventricule, est tantôt tubuleux et tantôt globuleux ou vésiculiforme. En général, le système artériel est complet (*) et se trouve formé par des vaisseaux à parois propres; le passage du sang de l'appareil respiratoire jusque dans le cœur uniloculaire se fait à l'aide de tubes membraneux. Mais les veines sont partout remplacées par des espaces lacunaires interorganiques dont les parois sont formées essentiellement par les muscles, les viscères ou les téguments circonvoisins, et tapissées seulement par une couche mince de tissu connectif ou cellulaire. Ainsi, par exemple, dans le voisinage des branchies, les veines n'affectent pas la forme de vaisseaux, et constituent des espèces de réservoirs ou sinus veineux; tandis que le fluide nourricier, comme nous l'avons dit, est de nouveau contenu dans des tubes quand il se rend des branchies vers le cœur.

Il n'est pas toujours possible d'établir une distinction entre le sang artériel et le sang veineux, chez les crustacés; mais aussi souvent que cette distinction peut être faite, on constate que le cœur est constamment placé sur le trajet du sang artériel (**).

L'appareil de la circulation, chez les INSECTES, est lacunaire : le fluide nourricier, au lieu d'être contenu dans un système de vaisseaux particuliers, est répandu dans les interstices des différents organes; il y a, en effet, absence d'artères et de veines. Supposant que la respiration trachéenne implique la non-existence d'une circulation du sang, quelques observateurs ont admis que, comme cela a lieu dans certains zoophytes, le fluide nourricier, chez les insectes, se répandait par une sorte d'infiltration successive dans la trame organique. La vérité est que le sang se meut avec une certaine rapidité dans le corps des insectes et que l'agent principal de ce mouvement est un *vaisseau dorsal* contractile, placé au-dessus du tube digestif et sur la ligne médiane. Mais il n'y a pas là une circulation régulière dans laquelle le fluide nourricier, après avoir parcouru un cercle, revienne toujours à son point de départ. Le vaisseau dorsal, duquel ne semble partir aucune branche, est divisé en autant de loges qu'il y a d'étranglements; il est animé de mouvements alternatifs de systole et de diastole analogues à ceux d'un véritable cœur. Ces mouvements permettent au sang de s'échapper par l'extrémité céphalique de ce vaisseau et aussi d'y pénétrer de nouveau par des orifices munis de valvules destinées à prévenir tout reflux. Le sang se meut d'arrière en avant dans le vaisseau dorsal ainsi que dans l'espèce d'aorte céphalique qui lui fait suite (***); puis, au sortir de cette dernière, il parcourt le corps dans toutes les directions en formant des courants constants extra-vasculaires, pénètre ainsi dans les antennes, les membres, les ailes et les autres appendices. Toutefois le vaisseau dorsal ne paraît

(*) Toutefois, chez les *Amphipodes* particulièrement, le système artériel est très rudimentaire, et, dans la presque totalité de son trajet, le sang circule dans des lacunes ou espaces interorganiques dépourvus de parois propres.

(**) Pour plus de détails sur la circulation des *crustacés*, consultez AUDOUIN et MILNE EDWARDS, *Annales des sc. nat.*, 1827, t. XI, p. 303.

(***) L'*aorte céphalique* des insectes n'est qu'un prolongement de la loge antérieure du vaisseau dorsal; c'est un tube simple et grêle qui occupe aussi la face dorsale du thorax et se prolonge jusqu'au ganglion céphalique, où il se termine par une ouverture béante.

pas être le seul agent de tout ce mouvement circulatoire : on a trouvé, dans les pattes d'un certain nombre d'insectes, des valvules mobiles qu'on prétend influer aussi sur la circulation. — Grâce à une respiration active, qui transmet l'air dans toutes les parties du corps à l'aide de *trachées*, l'apparente imperfection de la circulation des insectes est compensée, et le sang peut promptement se révivifier au contact de l'oxygène.

En général, chez les ANNÉLIDES, il n'y a point de cœur proprement dit ; mais le système vasculaire se compose de vaisseaux parfaitement clos, dont les contractions propres remplacent le cœur dans ses principaux effets sur la circulation. Cependant la direction du courant sanguin est loin d'être aussi constante que chez la plupart des animaux pourvus d'un centre cardiaque d'impulsion ; parfois le sang parcourt alternativement les mêmes vaisseaux en sens inverse. A côté du système vasculaire où circule le sang proprement dit, figure le système cavitaire général avec ses ramifications, systèmes qui, devenus parfaitement distincts dans cette classe d'animaux, conspirent au même but, sans avoir de communications directes. Ce ne sont point, en effet, seulement les vaisseaux sanguins qui effectuent le transport des fluides nourriciers dans l'intérieur de l'organisme ; le système cavitaire, avec ses parois en partie garnies de cils vibratiles, paraît remplir un office analogue, et surtout il peut mettre aussi son liquide en contact avec l'air par l'entremise des organes respiratoires. De Quatrefages (1), qui a fait d'intéressantes études sur ce liquide cavitaire, est porté à voir en lui et dans la portion périphérique de l'appareil qui le renferme, l'analogue de la lymphe et le rudiment du *système lymphatique* des animaux supérieurs (*). Il importe d'ailleurs de ne point confondre, comme cela a été fait plusieurs fois, les dépendances ramifiées du système cavitaire général avec les vaisseaux sanguins proprement dits : le sang qui y circule est rouge dans le plus grand nombre des annélides, tandis que le liquide cavitaire est ordinairement à peu près incolore.

L'appareil sanguifère des annélides se compose généralement de trois portions principales plus ou moins indépendantes, ou systèmes de vaisseaux : un système cutané latéral ou ventral ; un système dorsal ou sus-intestinal, et un système abdominal ou sous-intestinal (2). Tous ces vaisseaux, du moins les plus gros, sont munis de fibres contractiles qui leur permettent de se resserrer et de se relâcher d'une manière alternative, pour communiquer au fluide sanguin le mouvement nécessaire à sa circulation. Les contractions rhythmiques sont bien apparentes surtout dans le vaisseau dorsal et les deux vaisseaux latéraux des hirudinées.

Parmi les quatre troncs vasculaires longitudinaux qu'on observe chez les *hirudinées*, le sous-intestinal forme une espèce de gaîne vasculaire qui entoure et renferme la chaîne ganglionnaire du système nerveux (3) : cette disposition singulière s'explique en admettant que primitivement le système vasculaire sous-intestinal se compose de deux moitiés tendant à se confondre sur la ligne médiane.

(1) *Annales des sc. nat.*, 1846, t. V, p. 280. — *Ibid.*, 1850, t. XIV, p. 309. — *Ibid.*, 1852, t. XVIII, p. 306.

(*) DE QUATREFAGES considère plus particulièrement comme étant des lymphatiques les conduits vasculariformes qui portent le fluide cavitaire dans les appendices respiratoires des Branchellions (*Ann. des sc. nat.*, 1852, t. XVIII, p. 307).

(2) MILNE EDWARDS, *Leçons sur la physiol. et l'anat. comp.*, t. III, p. 253.

(3) MOQUIN-TANDON, *Monographie des Hirudinées*, p. 134.

Chez les *branchellions*, il existe, sur les côtés du corps, des petites vésicules ou sacs contractiles qui ont été assimilés à des *cœurs* (1).

Dans les *annélides chétopodes*, on observe à divers degrés une tendance à la centralisation des deux moitiés de l'appareil circulatoire, comme l'ont démontré surtout les recherches de Milne Edwards (2). Dans plusieurs de ces animaux, de même que chez les hirudinées inférieures, l'appareil circulatoire s'appauvrit et ne présente plus que deux troncs longitudinaux, l'un dorsal, appartenant au système viscéral, l'autre inférieur et représentant le système sous-cutané.

Dans les POISSONS, le cœur se compose de deux cavités (une oreillette et un ventricule) traversées seulement par du sang veineux, et représentant ainsi la moitié droite du cœur des vertébrés supérieurs. L'analogue de la moitié gauche de cet organe se retrouve dans une artère très manifestement contractile (*artère dorsale* ou *aorte*), qui, après avoir reçu directement des veines branchiales le sang vivifié par la respiration, l'envoie aux divers organes. Quand ce liquide a servi à la nutrition, il revient par les radicules veineuses, aboutit à un vaste sinus (*), confluent de toutes les veines du corps, puis se déverse dans l'oreillette, pour passer de là dans le ventricule unique et retourner aux branchies par l'artère branchiale et ses divisions : excepté chez les cyclostomes, celle-ci offre, à son origine, un bulbe contractile, auxiliaire du ventricule. Il en résulte que, dans cette circulation, un double système de vaisseaux capillaires est parcouru par le sang, qui ne passe qu'*une fois* dans le cœur à l'état de sang veineux, pour venir s'artérialiser *en totalité* dans l'appareil respiratoire. Nous verrons au contraire, chez les animaux supérieurs, le même fluide traverser *deux fois* le double cœur qui existe sur son parcours : une fois le cœur droit, à l'état de sang veineux ; une autre fois le cœur gauche, à l'état de sang artériel.

Après cet aperçu de la circulation dans les poissons, signalons quelques-unes des particularités les plus saillantes de leur appareil circulatoire.

Dans les *Lepidosiren*, on voit le bulbe artériel (renflement de l'artère branchiale) fournir des divisions ou des canaux qui se rendent directement à l'artère dorsale ou aorte (3) : de là le mélange nécessaire d'une partie du sang veineux avec le sang artériel pur qui revient des branchies. Cette disposition anatomique rappelle le *canal artériel* du fœtus des mammifères et des oiseaux, canal temporaire qui fait communiquer directement l'artère pulmonaire avec l'aorte. — D'après Peters (4) et Hyrtl (5), le *Lepidosiren paradoxa* offre deux oreillettes séparées par une cloison incomplète ; mais ces deux cavités s'abouchent, par un orifice commun dépourvu de valvules, dans le ventricule unique dont le cloisonnement est encore plus imparfait.

Chez les poissons qui ont atteint leur développement, les divisions de l'artère

(1) DE QUATREFAGES. *Ann. des sc. nat.*, 1852, t. XVIII, p. 303. — L'existence des précédentes vésicules a été signalée d'abord par FR. LEYDIG (*Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie*, 1851, t. III, p. 315).

(2) *Recherches pour servir à l'histoire de la circulation du sang chez les Annélides* (*Ann. des sc. nat.*, 1838, t. X, p. 204).

(*) Sinus de CUVIER, ou sinus précardiaque.

(3) TAYLOR, *Edinburgh Journal of Sciences*, 1831.

Rich. Owen, Bischoff, Retzius et J. Müller ont fait des observations analogues (voir J. MÜLLER, *Vergleich. Anat. des Gefässystemes der Myxinoïden*, Berlin, 1841).

(4) J. MÜLLER'S *Archiv*, 1845, p. 3.

(5) *Ueber Lepidosiren paradoxa*, p. 34, pl. I, fig. 4.

branchiale paraissent varier de quatre à sept de chaque côté. On en compte quatre dans les poissons osseux, cinq chez les plagiostomes, et six ou sept chez les cyclostomes. Chacune de ces divisions donne une double série de fines artérioles qui sont destinées aux appendices lamelliformes de l'appareil respiratoire, et qui constituent à sa surface un réseau capillaire assez riche pour permettre à la respiration de s'effectuer. — Quant aux veines branchiales (qui ont été assimilées aux veines pulmonaires des animaux supérieurs comme recevant le sang après qu'il a traversé l'appareil respiratoire), elles représentent les racines du système artériel général, et affectent une disposition qui rappelle celle des divisions de l'artère branchiale : seulement leur marche a lieu en sens inverse et leur calibre augmente à mesure qu'elles se rapprochent de l'extrémité dorsale de l'appareil de la respiration. Une fois parvenues sous la base du crâne, elles s'anastomosent entre elles et forment les branches d'origine de l'artère dorsale ou aorte, qui est chargée de distribuer le sang artériel aux diverses parties de l'organisme.

Dans les poissons, les veines chargées de ramener le sang des organes au cœur constituent trois systèmes principaux : 1° le système de la veine porte hépatique ; 2° celui de la veine porte rénale ; 3° le système des veines caves qui, ayant reçu les veines jugulaires et les rénales proprement dites, aboutit à l'oreillette par un seul conduit.

Les vaisseaux qui composent le système de la veine porte hépatique sont, chez la plupart des poissons, outre les veines de l'estomac, du canal intestinal, de la rate et des appendices pyloriques, celles de la vessie natatoire, des parois du tronc et des organes génitaux (Rathke et J. Müller). Dans beaucoup d'espèces, ces différentes veines se réunissent avant d'arriver au foie, en un tronc commun. Contractile, surtout chez les *Branchiostoma* et les *Myxine*, ce tronc constitue parfois un véritable cœur de la veine porte, comme l'ont démontré Retzius et J. Müller. Il arrive aussi que les précédentes veines se rendent au foie isolément ou en formant plusieurs troncs, ainsi qu'on l'observe chez les poissons osseux.

Quant aux veines de la partie postérieure du corps, quelques observateurs les ayant vues, après Jacobson (1), traverser la substance des reins avant d'arriver aux veines caves postérieures, ont admis qu'elles se répandaient d'abord dans la substance de ces organes à la manière du sang artériel ou bien de la veine porte dans le foie. D'après Siebold et Stannius (2), une pareille disposition serait loin d'être démontrée ; et, jusqu'à nouvel ordre, disent-ils, les objections que Cuvier et Meckel ont faites à l'opinion de Jacobson devraient être maintenues. Mais les recherches plus récentes de Rich. Owen (3), de Hyrtl (4) et de Bonsdorff (5) paraissent définitivement donner gain de cause aux observations du célèbre anatomiste danois, touchant l'existence d'un appareil porte rénal chez les poissons.

Le système des veines caves communique, dans divers poissons, avec de nombreux sinus qui se trouvent à la partie supérieure de la cavité viscérale. C'est surtout chez les lamproies et les raies que cette disposition a été signalée. Ces sortes de réservoirs veineux, qu'on désigne sous le nom de *sinus de Monro*, ont été en

(1) MECKEL'S *Archiv*, 1817, t. III, p. 151. — *De systemate venoso peculiari in permultis animalibus observato*. Hafniæ, 1821. — NICOLAÏ, dans le journal *Isis*, 1826, p. 404.
(2) *Anat. comp.*, t. II, p. 117, trad. franç. Paris, 1850, édit. in-12.
(3) *Lect. on the Comp. Anat. and Physiol. on the Vertebr. Anim.*, t. I, p. 284.
(4) *Denkschriften der kaiserl. Akad. der Wissenschaften zu Wien*, 1851, t. II, p. 27.
(5) *Acta Soc. scient. Fennicæ*, 1852, t. III, p. 571.

effet trouvés par cet anatomiste, dans la famille des raies (1), où Nat. Guillot (2), après les avoir étudiés de nouveau, les considère comme formés surtout par un tissu caverneux ou lacunaire. Ch. Robin (3) a retrouvé aussi les sinus de Monro chez les squales, où, dit-il, « les veines caves sont renflées et présentent un sinus baignant la base des ovaires ou des testicules, et d'une partie de l'oviducte, comme chez les raies. »

Je terminerai cet aperçu rapide sur l'appareil circulatoire des poissons, en rappelant, avec Milne Edwards (4), que le système veineux du plus grand nombre de ces animaux est constitué de façon à former avec les artères un ensemble de tubes clos de toutes parts ; et que, pour se compléter, l'appareil de la circulation n'emprunte point la grande cavité viscérale qui, chez la plupart des invertébrés, remplit les fonctions d'un réservoir sanguin. « Toutefois, dit Milne Edwards, chez quelques poissons cartilagineux, on aperçoit des indices d'une dégradation organique qui paraît constituer un degré intermédiaire entre ces deux formes d'appareil irrigatoire. En effet, chez les lamproies, par exemple, une portion considérable du système veineux semble être formée par une série de lacunes plutôt que par des vaisseaux proprement dits, et plusieurs des canaux parcourus par le sang veineux n'ont guère pour parois que les organes circonvoisins tapissés d'un peu de tissu conjonctif plus ou moins condensé en forme de membrane. »

Ajoutons que le système vasculaire de l'*Amphyoxus* présente, par suite de la contractilité de ses principaux troncs, une ressemblance frappante avec celui des annélides. Avec son appareil circulatoire dépourvu d'un organe central d'impulsion (cœur), ce poisson est généralement cité comme le représentant le plus dégradé du type dont dérivent tous les animaux vertébrés. Il y a, chez lui, pour remplacer le cœur et mettre le sang en mouvement, un grand nombre de bulbes vasculaires pulsatiles qui ont la plus grande analogie avec ceux qu'on observe chez divers annélides : leurs contractions sont d'ailleurs fort énergiques et se renouvellent successivement à environ une minute d'intervalle. C'est encore là évidemment un exemple de dégradation organique qui forme un degré intermédiaire entre les vertébrés inférieurs et les invertébrés les plus élevés en organisation (*).

Chez les REPTILES, l'appareil circulatoire présente de nombreuses variations de forme dont quelques-unes sont liées aux changements des organes de la respiration dans plusieurs espèces. Mais, au point de vue physiologique, il offre ceci de particulier, qu'il est toujours le siége d'un mélange plus ou moins complet de sang veineux et de sang artériel, mélange qui s'opère soit dans le cœur lui-même, soit dans les points voisins de cet organe. Il résulte de là qu'un sang imparfaitement révivifié se distribue aux différentes parties de ces animaux, et que les poumons reçoivent un sang déjà à demi hématosé.

(1) ALEX. MONRO fils, *The Struct. and Physiol. of Fishes*, etc. Edinburgh, 1785, in-fol.

(2) *Sur un réservoir particulier de la circulation des Raies* (*Comptes rendus de l'Acad. des sc. de Paris*, 1845, t. XXI, p. 1179).

(3) *Comptes rendus des séances de l'Acad. des sc. de Paris*, 8 déc. 1845, t. XX, p. 1282. — *Ibid.*, 1846, t. XXII, p. 821. — *Journal l'Institut*, 1845, t. XIII, p. 452, et t. XIV, p. 121, année 1846.

(4) *Leçons sur la physiol. et l'anat. comp.*, t. III, p. 368. Paris, 1858.

(*) J. MÜLLER, *Ueber den Bau und die Lebenserscheinungen des Branchiostoma lumbricum seu Amphyoxus lanceolatus*. Berlin, 1844, in-4. — DE QUATREFAGES, *Voyage en Sicile*, t. II, p. 12.

Dans la plupart des reptiles, le cœur est pourvu de trois cavités, deux oreillettes et un seul ventricule. L'oreillette droite reçoit exclusivement le sang noir ramené de tout le corps par les gros troncs veineux (veines caves) ; l'oreillette gauche renferme exclusivement le sang rouge rapporté du poumon par les veines pulmonaires. Une fois remplies, ces deux oreillettes se contractent simultanément afin de pousser leur contenu dans le ventricule unique : là se fait généralement le mélange des deux sangs, qui, dans quelques espèces pourvues de quatre cavités cardiaques, a lieu seulement dans l'aorte descendante (crocodiles, etc.) A l'aide de la systole consécutive du ventricule, le sang ainsi mélangé est lancé à la fois dans l'artère pulmonaire et dans l'aorte (d'abord confondues ou distinctes), qui le distribuent aux poumons et à tous les autres organes ; puis il est ramené de nouveau vers le cœur à l'état de sang artériel pur par les veines pulmonaires, à l'état de sang veineux par les veines caves, et ainsi de suite. Par conséquent, chez les reptiles, le sang n'est exclusivement artériel que dans les veines pulmonaires et l'oreillette gauche ; il n'est exclusivement veineux ou noir que dans l'oreillette droite et les veines qui l'y rapportent. Au contraire, le ventricule cardiaque, l'aorte et ses divisions, l'artère pulmonaire et ses branches, ne livrent passage qu'à un sang mélangé.

A cause de cette hématose incomplète, les reptiles ont pu paraître avoir une sorte d'infériorité par rapport aux poissons, aux mollusques ou aux crustacés, dont l'appareil respiratoire se laisse traverser par une masse de sang équivalente à celle qui parcourt le reste du corps. A la vérité, les reptiles respirent l'air atmosphérique, au lieu de l'air dissous dans l'eau, et la richesse du système capillaire de leurs poumons les place au-dessus des invertébrés.

Le tronc commun des deux artères pulmonaires naît tantôt immédiatement du ventricule unique, et tantôt de l'aorte elle-même. Il y a communément deux artères aortes qui proviennent du ventricule, et qui, après s'être portées en arrière, s'unissent pour former l'aorte verticale ou descendante. Les artères carotides et brachiales, destinées à la tête et aux membres antérieurs, sont des branches de l'aorte droite.

Quant au système veineux général des reptiles, il aboutit à un grand sinus contractile qui s'abouche dans l'oreillette droite du cœur. Tandis que le sang de la tête et des parties antérieures du corps revient ainsi directement au centre impulsif de l'appareil vasculaire, celui des viscères abdominaux et des parties postérieures passe d'abord à travers des systèmes capillaires dépendants du foie, et aussi des reins d'après Jacobson (1).

Ces derniers organes sont, en effet, pourvus de *veines portes*, comme chez les poissons, et participent aussi à la distribution du sang veineux à leur intérieur (*).

Le ventricule du cœur, chez les *Chéloniens*, commence à se diviser imparfaitement en deux loges que, jusqu'aux récentes recherches de Brücke (2), on avait

(1) *Recherches anat. et physiol. sur le système veineux particulier aux Reptiles* (*Bulletin de la Société philomatique de Paris*, avril 1813). — MECKEL'S *Archiv.*, 1817, t. III, p. 147.

(*) L. JACOBSON a aussi admis, d'après ses propres recherches, l'existence de veines portes rénales chez les *Oiseaux*. Contestée par la plupart des anatomistes, elle vient d'être affirmée de nouveau par P. GRATIOLET (*Journal l'Institut*, 1853, p. 386), et par S. JOURDAIN (*Rech. sur la veine porte rénale des Oiseaux, etc.*, thèse inaug. de la Faculté des sciences de Paris, 1860).

(2) Mémoire inséré dans le tome III, p. 335, des *Mém. de l'Acad. de Vienne* pour l'année 1852.

eu coutume de regarder comme moins distinctes qu'elles ne le seraient en réalité d'après cet observateur, du moins dans certaines espèces. En effet, il a reconnu que, au moment de la diastole du ventricule, les deux loges secondaires de cette cavité n'offrent pas la même coloration : celle qui correspond aux veines caves se colore en rouge foncé, et celle qui reçoit le sang des veines pulmonaires se colore en rouge vermeil; d'où il conclut que la première se remplit de sang veineux et la seconde de sang artériel. Du reste, lors de la contraction ventriculaire, le sang veineux de la loge droite a paru à Brücke être lancé dans les artères pulmonaires aussi bien que dans le système aortique; et, par conséquent, là encore le mélange des deux sangs s'effectue dans certaines proportions. Le même physiologiste dit aussi avoir constaté, chez des tortues, que, dans la systole du ventricule, les deux loges de cette cavité ne se contractent pas tout à fait simultanément.

La circulation des *Ophidiens* est la même que celle des chéloniens. Leur cœur est aussi composé de deux oreillettes et d'un ventricule; et ce dernier se trouve plus ou moins complétement divisé en deux loges à l'aide d'une cloison charnue. Mais le sang, que reçoivent tous les organes, n'en est pas moins un mélange de sang artériel et de sang veineux ; seulement, d'après l'observation de Brücke (1), tout ou presque tout le sang artériel venu des poumons se trouve utilisé dans la circulation générale, et c'est du sang veineux presque pur qui revient aux poumons.

La disposition de l'appareil circulatoire varie chez les *sauriens*. Toutefois, excepté quelques espèces, comme les crocodiles (chez qui la séparation entre les deux moitiés du cœur est complète et chez qui aussi le mélange des deux sangs ne se fait que dans l'aorte descendante), le cœur est, en général, assez imparfaitement divisé dans sa portion ventriculaire pour permettre toujours le mélange des deux sangs dans son intérieur.

Par leur organisation intérieure, et surtout par la disposition générale de leur système circulatoire, les *Crocodiles* paraissent former le chaînon intermédiaire entre les reptiles et les vertébrés supérieurs. En effet, comme celui des oiseaux et des mammifères, leur cœur se compose de quatre cavités distinctes : deux oreillettes et deux ventricules. Mais, à cause d'une communication établie entre le ventricule droit et l'aorte descendante au moyen d'un vaisseau recourbé derrière le cœur, on ne voit pas, comme chez l'oiseau ou le mammifère adulte, tout le sang veineux être chassé vers les poumons à chaque systole ventriculaire; au contraire, une portion de ce même sang est aussi lancée dans l'aorte. De plus, le vaisseau qui permet la précédente communication, s'abouchant dans l'aorte au-dessous du lieu d'origine des carotides et des artères destinées aux membres thoraciques, il en résulte que la tête et la partie antérieure du tronc doivent recevoir du sang artériel pur, alors que les parties postérieures du corps ne reçoivent qu'un mélange de sang noir et de sang rouge. Une pareille disposition rappelle ce qui a lieu chez le fœtus des mammifères et des oiseaux, à l'époque où existe le canal temporaire qu'on nomme *canal artériel* : on ne retrouve pas d'ailleurs chez le crocodile adulte, une communication entre les deux oreillettes, analogue à celle qu'établit le trou de Botal, durant la période fœtale des vertébrés supérieurs.

Quant aux *Batraciens*, nous nous proposons de parler ici du mode de circula-

(1) *Loc. cit.*

tion qui leur est propre, seulement lorsqu'ils ont atteint leur état parfait de développement ; nous réservant d'ailleurs de montrer que ces animaux, suivant qu'ils respirent par des branchies ou par des poumons, ou bien à la fois par l'un et par l'autre de ces organes, présentent un appareil circulatoire qui se rapproche, soit de celui des poissons, soit de celui des vertébrés supérieurs.

Comme on l'observe dans la plupart des reptiles, le cœur du batracien adulte se compose de deux oreillettes et d'un seul ventricule. L'une de ces oreillettes admet le sang des veines pulmonaires, l'autre celui des veines caves. Du ventricule unique où se déversent ces deux sangs pour s'y mêler, provient un tronc vasculaire qui d'abord offre un bulbe contractile, et qu'on peut aussi bien considérer comme pulmonaire que comme aortique, puisque c'est des deux arcades qu'il forme, en se divisant, que partent les artères pulmonaires des batraciens adultes. La présence de fibres musculaires dans ce tronc vasculaire, et celle de valvules disposées parfois en séries à son intérieur, démontrent qu'il a distinctement tous les caractères d'un bulbe artériel pourvu de contractilité.

Simple à sa naissance, l'aorte se divise bientôt en deux crosses qui, dirigées l'une à droite et l'autre à gauche, embrassent le tube digestif pour former au-dessus de lui un tronc unique, l'aorte dorsale. Chez les pérennibranches et les urodèles, cette fusion a lieu dans la région cervicale ; elle se fait bien plus en arrière chez les batraciens anoures, où les crosses d'origine de l'aorte dorsale ont une grande longueur. Chez ces derniers, l'aorte ventrale se termine en donnant naissance aux artères des membres postérieurs, pendant qu'elle se continue en fournissant l'artère caudale chez les urodèles et les pérennibranches, comme chez les têtards. En général, les artères des membres antérieurs proviennent des crosses aortiques, rarement de l'aorte dorsale.

Une paire de veines caves antérieures, qui ramènent le sang noir de la tête et des membres thoraciques, s'abouchent dans l'oreillette droite. Quant aux veines qui rapportent le sang des membres pelviens ou des viscères de l'abdomen, elles débouchent dans la veine cave ventrale qui se termine aussi dans cette même oreillette. Mais, comme pour les poissons, Jacobson (1) a reconnu que, chez les batraciens, ce dernier sang, avant d'arriver au cœur, passait à travers le foie et les reins pour donner naissance au système porte hépatique et au système porte rénal. Ce sont donc les veines efférentes de ces deux systèmes qui, en se réunissant, viennent aboutir à la veine cave postérieure.

Enfin les deux veines pulmonaires, de plus en plus rapprochées l'une de l'autre, sont chargées de verser dans l'oreillette gauche le sang artériel qu'elles rapportent des poumons. Toutefois, d'après Hyrtl (2), une partie notable de ce liquide serait aussi versée, chez le *protée*, dans la veine cave postérieure, à l'aide de rameaux émanés de la surface dorsale des poumons.

Si, dans les poissons et les invertébrés les plus élevés en organisation, le parcours du sang ne décrit qu'un seul cercle, de manière que tout ce fluide, lancé par la systole du ventricule unique, traverse successivement le système capillaire respiratoire et le système capillaire général, avant de revenir à son point de départ ; au contraire, chez le batracien adulte, comme d'ailleurs chez les autres reptiles, il existe deux cercles vasculaires que nous allons retrouver aussi dans les vertébrés

(1) *Loc. cit.*
(2) *Medic. Jahrbücher des Oesterreich. Staates*, 1844, t. XLVIII, p. 258.

supérieurs, c'est-à-dire qu'il y a une grande et une petite circulation dans chacune desquelles le sang, parti du cœur, revient à cet organe de manière que le sang du grand cercle et celui du petit cercle se mêlent ensemble dans le ventricule. Nous verrons qu'au contraire, dans les vertébrés supérieurs adultes, les deux cercles restent distincts par suite du cloisonnement complet qui existe aussi bien entre les deux ventricules qu'entre les deux oreillettes.

Nous avons dit que l'appareil de la circulation subit des changements qui sont liés à ceux des organes respiratoires. En effet, lorsque, dans les premiers temps de sa vie, le batracien, à l'état de *têtard*, respire par des branchies, le sang que chasse le ventricule cardiaque va se distribuer à ces organes, d'où il se rend directement dans une artère dorsale destinée à le répartir dans tout le jeune organisme. Il y a donc alors une disposition transitoire qui rappelle la disposition permanente de l'appareil circulatoire des poissons. Mais, à mesure que les poumons se développent, on voit s'établir une communication directe entre les vaisseaux afférents et efférents des branchies (artères et veines branchiales) : il en résulte que le sang n'est plus forcé de passer à travers ces organes pour se rendre dans l'artère dorsale. Le tronc artériel, qui part du ventricule unique du cœur et qui donnait naissance aux artères branchiales, représente dès lors l'origine du vaisseau dorsal et forme avec lui une véritable aorte, dont certaines divisions aboutissant aux poumons se développent comme eux et établissent la petite circulation ou circulation pulmonaire. Une fois ces métamorphoses opérées et les vaisseaux des branchies oblitérés, la circulation devient ce que nous l'avons vue être chez les autres reptiles.

Circulation chez l'homme et les vertébrés supérieurs.

Pour se faire, tout d'abord, une *idée générale* du trajet parcouru par le sang, ou de la circulation harvéienne chez l'homme, les mammifères et les oiseaux, il faut se rappeler que, chez tous, le cœur est double, c'est-à-dire composé de deux moitiés, qui, après la naissance, n'ont pas de communication entre elles, et dont chacune renvoie par des artères le sang qui lui est arrivé par des veines. — Le *cœur droit* contient exclusivement le sang noir ramené de tout le corps par les veines caves qui s'ouvrent dans l'oreillette droite (*); passant de là dans le ventricule correspondant, le sang noir est lancé dans l'artère pulmonaire qui le conduit au poumon, où il devient sang rouge. Le *cœur gauche* renferme exclusivement le sang rouge rapporté du poumon par les veines pulmonaires qui s'abouchent dans l'oreillette gauche; passant de là dans le ventricule correspondant, le sang rouge ou artériel est chassé dans l'aorte et ses divisions, qui le distribuent à tous les organes où bientôt il devient sang veineux, pour retourner au cœur droit. Comme l'a observé Harvey, les deux oreillettes agissent ensemble, les deux ventricules ensemble; et l'action simultanée des premières précède toujours celle des seconds. Pendant que les deux oreillettes, d'abord distendues par le sang, se resserrent afin de le pousser dans les deux ventricules, ceux-ci se laissent dilater pour le recevoir; puis bientôt ils se contractent à leur tour, afin de lancer ce fluide dansl'aorte et l'artère pulmonaire, pendant que les deux oreillettes sont dilatées derechef pour recevoir de nouveau du sang, et ainsi de suite. En d'autres termes, la

(*) La *grande veine coronaire*, dont les divisions rapportent le sang veineux provenant du cœur lui-même, s'ouvre aussi dans l'oreillette droite.

(contraction) des deux oreillettes coïncide avec la *diastole* (dilatation) des
ntricules, et réciproquement la systole des deux ventricules coïncide
diastole des deux oreillettes.
les différentes cavités du cœur, un système de valvules ou soupapes est
le déterminer la *direction* du courant sanguin.
ure 11 représente les deux circulations : le poumon, avec son système
e, est supposé au point P sur le
: la *petite circulation;* tous les
rganes du corps, avec le sys-
pillaire général, sont supposés
le trajet de la *grande circula-*
La moitié qui est marquée de
s longitudinales, correspond au
ir, et l'autre moitié au sang
o représente l'oreillette gauche
ventricule correspondant; *o'*,
droite et *v'* le ventricule droit;
ère aorte; *vc*, les veines caves;
ère pulmonaire; *vp*, les veines
ires.
remier examen de cette figure
ie, on reconnaît que le cœur
çoit le sang noir de la grande
on et l'envoie à la petite, tandis
eur gauche reçoit le sang rouge
tite circulation et l'envoie à la
— que, par son oreillette, le
oit se rattache à la circulation
et par son ventricule à la cir-
pulmonaire, tandis que le cœur
appartient à la circulation pul-
par son oreillette et à la circu-
énérale par son ventricule.
écédente figure fait bien com-
aussi que le sang, pris en un
nelconque du système circula-
e peut revenir à son point de

Fig. 11.

qu'après avoir parcouru le trajet de cette double circulation, et par con-
traversé les deux séries d'artères, les deux systèmes capillaires, les deux
veines, et enfin les deux cœurs adossés, qui existent sur ce parcours.
description ne s'applique qu'au vertébré supérieur (mammifère ou oiseau)
un certain degré de développement : en effet, dans la période fœtale, la
on du poumon est tout à fait rudimentaire, et ce n'est qu'après que
ation s'est établie que le poumon se laisse traverser par une masse
équivalente à celle qui parcourt tout le reste du corps. Chez le fœtus,
ue totalité du sang lancé par le ventricule droit passe dans l'aorte à
un conduit temporaire qu'on nomme *canal artériel*, et qui s'oblitère
moins promptement après la naissance : c'est aussi ce qui a lieu pour

un orifice (*trou de Botal*) qui, dans le fœtus, faisait communiquer les deux oreillettes.

Lorsque les deux circulations sont bien nettement établies, elles offrent des ressemblances telles, que l'étude de l'une suffit pour faire connaître le mécanisme de l'autre : aussi, laissant pour l'instant la *circulation pulmonaire*, nous occuperons-nous surtout du parcours du sang artérialisé et arrivé dans le cœur gauche, jusqu'au moment où, après avoir été transformé dans les organes, il est versé par les veines caves dans le cœur droit, c'est-à-dire de la *grande circulation*. Comme le sang est obligé de traverser le poumon aussi vite que tout le corps (sans quoi l'équilibre circulatoire serait rompu, et il y aurait engouement des vaisseaux pulmonaires), nous pouvons, en effet, supprimer ici, par la pensée, tout le circuit pulmonaire, et supposer que le sang passe directement du ventricule droit dans l'oreillette gauche. C'est ce qu'a fait E. H. Weber, qui, dans le but de donner une idée sommaire du *mécanisme* de la circulation, a eu recours à un ingénieux moyen de démonstration.

Pour imiter le circuit harvéien, Weber prend une anse d'intestin grêle, suffisamment longue, dont il réunit les deux extrémités de manière à former un conduit clos et circulaire. Une portion de ce conduit élastique est limitée par deux valvules B, *g*, s'ouvrant suivant la direction qu'on veut assigner au courant du liquide ; direction qui, dans la figure, est indiquée par une flèche. Ces valvules sont disposées de façon à empêcher tout courant rétrograde. On a donc, au point C, une partie du tube armée de valvules qui, par leur direction et leur usage, rappellent celles du cœur. Un entonnoir *e* permet de remplir l'appareil de liquide, et dès lors celui-ci est prêt à fonctionner : si l'on comprime la partie C, le liquide qu'elle contient tendra à s'échapper, et ne pouvant le faire qu'en *g*, à cause de la direction des valvules, il pénétrera dans le tube sous forme d'une ondée plus ou moins rapide, dont le mouvement se propagera circulairement jusqu'à la valvule B ; alors, si la compression a cessé, le liquide rentrera dans la partie C. Une série de mouvements intermittents, produits par des alternatives de compression et de relâchement du tube en C, fera passer successivement tout le liquide par les divers points du circuit.

Dans ces conditions, le mouvement circulaire du sang est déjà imité, mais d'une manière encore très imparfaite ; car, dans la circulation sanguine, le mouvement de l'ondée lancée par le ventricule gauche ne se fait pas sentir jusqu'à la fin du système veineux, ce mouvement étant entravé par les obstacles que le sang

Fig. 12.

rencontre à son passage à travers les voies capillaires. Pour simuler ces dernières conditions dans son appareil, E. H. Weber eut l'idée d'introduire à frottement, dans

l'intérieur du tube et environ à sa partie moyenne, un morceau d'éponge fine *c*, dont la porosité permît le passage du liquide, mais avec une certaine résistance à vaincre. Si maintenant on fait agir l'appareil, l'impulsion qui chassera le liquide de la portion C dans le reste du tube; s'arrêtera contre l'obstacle *c*, la partie située en *aa'* se distendra par suite de l'accumulation du liquide, et, sous l'influence de la tension produite, un *écoulement continu* aura lieu à travers l'éponge, puis au delà dans l'anse *v' r* située entre elle et le point C. Par conséquent, la partie du tube située après l'obstacle recevra d'autant moins de liquide que l'autre partie en retiendra davantage.

A l'aide de cet appareil si simple, il est donc possible de simuler les principaux phénomènes de la circulation ; et chacune des parties dont il se compose peut être supposée correspondre à un des principaux rouages du système circulatoire lui-même. — En effet, on y trouve : 1° un *appareil d'impulsion* avec lequel il est facile d'imiter, dans une certaine mesure, les mouvements rhythmiques et le jeu valvulaire du cœur ; 2° une *voie centrifuge* (l'analogue des artères) ouverte au liquide qui a reçu l'impulsion ; 3° un *passage étroit* et difficile à franchir, comparable au système capillaire sanguin dans lequel le sang trouve, comme on le sait, des résistances si importantes à étudier dans leurs variations et leurs effets; 4° enfin une *voie centripète* (l'analogue des veines) qui ramène le liquide à son point de départ.

En faisant fonctionner le petit appareil de Weber, on arrivera à comprendre plus aisément comment l'activité fonctionnelle du cœur tend à remplir de plus en plus le système artériel aux dépens du système veineux ; comment aussi la perméabilité plus ou moins grande des capillaires peut rendre plus ou moins différentes la tension des artères et celle des veines : évidemment, plus les capillaires seront étroits et difficiles à se laisser traverser par le sang, plus la tension artérielle devra augmenter aux dépens de la tension veineuse, et réciproquement. Indépendamment des causes de ces variations de tension, on se rendra encore compte de l'existence de pulsations correspondantes à chaque afflux et de la transformation du mouvement, d'abord intermittent, en mouvement continu dans les capillaires et dans les veines.

D'après le précédent aperçu, le plan à adopter dans l'étude des principaux phénomènes de la circulation est tout naturellement tracé : il nous faudra examiner ces phénomènes successivement — dans l'organe d'impulsion, le *cœur* ; — dans les canaux centrifuges du système sanguin, les *artères* ; — dans les voies plus étroites, dites *capillaires* ; — enfin dans les canaux centripètes du sang, les *veines*.

Cependant il est quelques questions, relatives à la circulation, qui seront réservées pour être traitées en dehors de ce cadre.

PROPRIÉTÉS ET ACTION DU CŒUR. — COURS DU SANG DANS LE CŒUR.

On vient de voir sommairement, dans l'homme et les vertébrés supérieurs, le sang être transporté du cœur à toutes les parties du corps et ramené de toutes ces parties au cœur (circulation générale), puis être envoyé encore du cœur au poumon et ramené du poumon au cœur (circulation pulmonaire). A ce rapide coup d'œil jeté sur le parcours du sang, doit succéder l'étude détaillée du *mécanisme* des différentes portions de l'appareil circulatoire.

Avant d'étudier spécialement les mouvements du cœur (systole et diastole), leur rhythme, les bruits qui les accompagnent, le jeu valvulaire et la force de cet organe, je dirai ses propriétés physiologiques, la cause présumée de ses contractions rhythmiques, et ses relations avec le système nerveux, relations dont les effets, niés par les uns et un peu exagérés par les autres, sont aussi réels qu'ils sont difficiles à interpréter.

I. — Le *cœur* est formé d'un tissu musculaire à fibres rouges, striées en travers et comparables, pour l'aspect, si ce n'est pour le volume, à celles des muscles de la vie animale (*). Quoique les contractions du cœur soient soustraites à l'empire de la volonté, elles se rapprochent de celles des muscles volontaires, par la rapidité, par l'énergie et aussi par le relâchement instantané qui leur succède : on sait qu'au contraire les autres muscles de la vie organique se contractent avec lenteur, en général longtemps après qu'on les a excités, et qu'ils se relâchent d'une manière graduelle ; qu'en un mot leurs contractions sont lentes à s'établir et lentes à s'éteindre.

Le caractère le plus remarquable de la contractilité du cœur, caractère qu'on observe dès la vie embryonnaire, résulte de la propriété qu'a cet organe de se mouvoir d'une manière spontanée et rhythmique, en toutes circonstances : par exemple, sur un animal qui vient d'être tué, le cœur, arraché de la poitrine et vide de sang, continue de battre ; et, quand on le divise en morceaux, la plupart de ces morceaux offrent encore des alternatives régulières de contraction et de relâchement pendant un temps plus ou moins long, suivant l'espèce animale. — Après son excision, le cœur des mammifères et des oiseaux *adultes* n'exécute ses mouvements alternatifs de systole et diastole que durant quelques minutes, excepté toutefois chez les mammifères hibernants (hérissons, etc.), où ces mouvements peuvent persister pendant environ deux heures. Cette dernière observation est due à Templer (1). Dans la classe des poissons et dans celle des reptiles, on voit les battements du cœur continuer plus longtemps encore : au dire de Haller (2) qui a obtenu des résultats analogues, Montanus a vu le cœur d'un saumon battre pendant vingt-quatre heures après son excision ; Lorenzini a constaté le même phénomène durant neuf heures sur le cœur d'une torpille, et Leeuwenhoeck pendant six heures sur celui d'une anguille. Dans des recherches toutes récentes sur la durée de l'activité du cœur séparé de l'organisme et placé dans divers gaz, Castell (3) a vu des cœurs de grenouille continuer leurs battements pendant douze heures, dans l'oxygène, etc.

Sous ce rapport, le cœur diffère donc sensiblement des muscles de la vie animale, qui, une fois séparés du corps, n'ont plus de mouvements spontanés, mais se bornent à réagir sous les excitants directs qu'on leur applique.

(*) En général, d'un tiers moins larges (0mm,009 à 0mm,002) que celles des muscles volontaires, les fibres musculaires du cœur offrent souvent des stries longitudinales plus marquées que les stries transversales, et se décomposent facilement en fibrilles et en petits fragments (*sarcous elements*, Bowman). Une autre particularité qui distingue le tissu musculaire du cœur, c'est l'union intime de ses éléments qui, généralement, ne forment point des faisceaux distincts, mais très serrés les uns contre les autres et s'anastomosant directement entre eux. Ces anastomoses entre les fibres musculaires, qui constituent un caractère général du tissu du cœur, résultent de faisceaux courts qui se portent obliquement ou transversalement entre les faisceaux longitudinaux. On trouve en outre, dans le cœur, de véritables *bifurcations* de fibres (Kölliker).

(1) *Philos. Transact.*, 1673, t. VIII.

(2) *Elem. physiol.*, t. I, p. 471.

(3) MÜLLER'S *Archiv für Anat.*, etc., 1854, p. 248.

Du reste, le cœur jouit aussi, et à un haut degré, de cette dernière propriété qu'on nomme *irritabilité* : en effet, quand les mouvements propres à cet organe viennent de s'éteindre, on les ranime, d'une manière plus ou moins complète, à l'aide de *stimulants variés* qu'on fait agir sur son tissu même. — Divers observateurs (Volta, Mezzini, Valli, Sœmmerring, Behrends, Bichat, etc.) avaient avancé que l'irritabilité du cœur et des autres organes qui sont hors du domaine de la volonté ne pouvait être mise en jeu par un courant galvanique; mais les expériences de Schmuck (1), Fowler (2), Ludwig (3), Webster (4), Creve (5), Nysten (6), etc., expériences que nous avons pu souvent reproduire, démontrent que cette assertion est erronée : le tissu musculaire du cœur est directement excitable par le galvanisme. — Il suffit également de souffler sur le cœur, de le toucher extérieurement avec le doigt, avec la pointe d'un scalpel ou d'une aiguille, de déposer à sa surface externe quelques gouttes d'eau froide, etc., pour réveiller aussitôt des mouvements qu'on ne saurait d'ailleurs rapporter à l'*action réflexe* du système nerveux central, puisque ces mêmes mouvements, nous l'avons dit, se manifestent aussi dans un cœur complétement séparé de l'organisme.

Il importe d'ajouter que généralement ces irritations directes produisent une réaction plus prononcée et plus durable, quand elles portent sur la surface interne de l'organe.

Cette différence existe également dans les effets de l'application de certains agents qui, au lieu de mettre en exercice l'irritabilité du cœur, tendent à la détruire et à en diminuer la durée. Verse-t-on, par exemple, dans les cavités du cœur une solution aqueuse d'opium, leurs mouvements s'arrêtent d'une manière presque subite, puis l'irritabilité elle-même disparaît bientôt; mais cette propriété subsiste plus longtemps si la solution est injectée dans le péricarde.

Après la mort, l'aptitude à se contracter par le galvanisme varie, pour la durée, dans les diverses parties du cœur. D'après Nysten (7), elle disparaît d'abord du ventricule aortique, puis du ventricule pulmonaire, de l'oreillette gauche, et finalement se réfugie dans l'oreillette droite (*ultimum moriens*). C'est aussi dans ce même ordre que Sénac (8) et Haller (9) ont vu s'éteindre les mouvements spontanés des cavités cardiaques sur un grand nombre d'animaux, dans les instants qui ont suivi la mort. Au rapport de Legallois (10), l'oreillette droite de fœtus de lapin serait demeurée irritable six à sept heures après que les autres parties du cœur avaient cessé de l'être, et Nysten (11) mentionne une durée encore plus longue.

Quant à la *sensibilité du cœur*, on sait, depuis l'observation d'Harvey faite sur

(1) *Dissertatio de electricitate corporum organicorum*, in-4. Heidelberg, 1791.
(2) *Experim. on Animal Electricity*, 1794.
(3) *Scriptores nevrol. min. select.*, t. IV, p. 408, exper. 3.
(4) *Thatsachen über Verbindung des Magens mit dem Leben*, 1796, p. 4.
(5) *Metallreiz*, etc., p. 96.
(6) *Expér. sur les organes musculaires, prouvant que le cœur est l'organe qui conserve le plus longtemps l'excitabilité galvanique*. Paris, 1803, in-8.
(7) *Mém. cit.* et *Rech. de physiol. et de chim. pathol.*, p. 321.
(8) *Traité de la structure du cœur*. Paris, 1777, t. II, p. 150. 2e édit.
(9) *Elementa physiologiæ*, t. I, p. 424 et 425.
(10) *Sur le temps durant lequel les jeunes animaux peuvent être, sans danger, privés de la respiration*. Paris, 1834, in-4, p. 26.
(11) *Mém. cit.*

l'homme lui-même (*), observation confirmée par Richerand (1), O'Brian (2), etc., on sait, dis-je, que les attouchements pratiqués sur le cœur d'individus de notre espèce ne donnent lieu à aucune sensation. Dans le cas rapporté par Harvey, le patient, alors âgé de dix-neuf ans, n'était averti de l'application du doigt de l'observateur sur son cœur que s'il y regardait, ou si l'on touchait en même temps les parties avoisinantes. Chez les animaux, notamment les grands mammifères, tous les expérimentateurs ont pu facilement constater les mêmes faits après la trépanation du sternum. — Toutefois, dans quelques cas pathologiques, le cœur peut devenir le siége de douleurs vives, comme cela s'observe pour bien d'autres viscères de la vie organique insensibles aussi dans l'état normal.

II. — L'action du sang sur la surface interne du cœur a été regardée comme la cause qui, dans l'état physiologique, met en exercice la contractilité de cet organe et excite ses mouvements d'ensemble ; en d'autres termes, le *sang* serait le *stimulus normal* et toujours renouvelé des *contractions du cœur*. Cette idée a été mise en lumière surtout par les expériences de Haller (**) qui a reconnu qu'en interceptant le cours du sang dans l'une des moitiés du cœur, on voit bientôt la moitié qui continue à en recevoir se contracter toute seule. Quant à la première, elle n'a pas seulement perdu, au bout d'un certain temps, ses contractions rhythmiques, mais encore son irritabilité. Haller (3) a pu ainsi changer l'*ultimum morieus* de côté : en liant les veines caves et en ouvrant l'artère pulmonaire de manière à rendre vide le cœur droit, il a bientôt arrêté les contractions de ce dernier ; au contraire, les mouvements ont persisté pendant quatre heures dans le cœur gauche, où le sang avait été retenu par la ligature de l'aorte.

Il est une condition indispensable pour que le cœur continue à se mouvoir : c'est l'intégrité de la circulation dans la profondeur même du tissu musculaire qui le constitue. Erichsen (4) a réussi à paralyser le cœur en peu d'instants par la ligature des artères coronaires. S'il favorisait l'issue du sang contenu dans l'épaisseur de l'organe, en ouvrant les veines coronaires, la paralysie arrivait plus tôt encore ; s'il retenait le sang au moyen de ligatures posées sur ces veines, le cœur continuait à battre plus longtemps. Schiff (5) a pu produire dans le cœur des paralysies locales, en liant seulement l'artère qui se rend au ventricule droit ; dans ce cas, le ventricule gauche continuait seul ses battements. Sénac (6), qui cite Chirac comme ayant pratiqué la ligature des artères coronaires, dit qu'il a voulu aussi

(*) Le fils d'un des seigneurs de la cour du roi d'Angleterre Charles Ier, le vicomte de Montgomery, reçut dans son enfance une large blessure pénétrante de poitrine : après la cicatrisation des bords de cette blessure, il resta une ouverture assez considérable pour qu'on fût obligé d'y appliquer une plaque métallique, en manière de cuirasse. Au fond de cette ouverture, le cœur se voyait à nu : c'est dans ces conditions que Harvey put, en étudiant diverses particularités des mouvements du cœur, reconnaître l'*insensibilité* absolue de cet organe aux attouchements.

(1) Cité par P. BÉRARD, *Cours de physiol.*, t. III, p. 653.

(2) *American Journal of Med. Sc.*, 1838, t. XXIII, p. 194.

(**) Avant Haller, SÉNAC (*Traité de la structure du cœur*, t. II, chap. IX) avait donné des arguments à l'appui de l'opinion qui considère le sang comme cause immédiate des mouvements du cœur ; mais il admet aussi l'intervention du système nerveux niée par HALLER.

(3) *Opera minora*, t. I, p. 155.

(4) *On the Influence of the Coronary Circulation on the Action of the Heart* (*Lond. Med. Gaz.*, 1842, t. II, p. 561).

(5) *Arch. für physiol. Heilkunde*, t. IX.

(6) *Traité de la structure du cœur, etc.* Paris, 1777, t. II, p. 134, 2e édit.

les lier, mais que cette tentative ne lui a pas réussi. Il n'en croit pas moins à l'influence d'une pareille ligature sur les mouvements du cœur; « car, ajoute-t-il, si le sang s'arrête dans les muscles, ils deviennent paralytiques » (1).

Frappés surtout de l'influence excitatrice que le sang exerce par son contact avec la surface interne des cavités du cœur, quelques physiologistes ont voulu voir dans l'afflux et la sortie périodique du sang la *cause des mouvements rhythmiques* de cet organe. Pour Haller, la chose n'était pas douteuse; il trouvait dans l'itinéraire que le sang doit nécessairement suivre, passant de l'oreillette au ventricule, la cause de la succession régulière des mouvements de ces deux cavités.

Ainsi, la marche naturelle du sang (*stimulus*) des veines dans les oreillettes, de celles-ci dans les ventricules, et de ceux-ci hors du cœur, expliquerait la diastole et la systole qui s'enchaînent et se succèdent si régulièrement dans les cavités du cœur. La systole naîtrait de leur état de plénitude, et la diastole de leur état de vacuité. Un organe irritable et un *stimulus* sans cesse renouvelé, c'est tout ce qu'il faudrait, suivant la théorie hallérienne, pour entretenir, sans l'intervention nerveuse, l'alternance des mouvements des oreillettes et des ventricules. Nous reviendrons tout à l'heure sur l'examen de cette théorie.

Pour d'autres observateurs, qui tiennent spécialement compte de l'action plus intime du sang sur le tissu même du cœur, la périodicité rhythmique des mouvements cardiaques dépendrait d'intermittences dans la circulation des vaisseaux propres à cet organe. Ils admettent que les valvules sigmoïdes de l'aorte, en se relevant lors de la systole ventriculaire, obstruent les orifices des artères coronaires, et que le sang n'entre dans ces vaisseaux que pendant l'intervalle des systoles des ventricules et sous l'influence de la tension aortique. Dans cette opinion, la systole ventriculaire s'accompagnerait de l'arrêt du cours du sang dans les vaisseaux du cœur, et, sous l'influence de cet arrêt, le relâchement de l'organe aurait lieu. Brücke (2) notamment a soutenu cette idée et ajouté la remarque que la systole du cœur, comprimant les vaisseaux contenus dans ses parois, rend le cœur exsangue et le force à se relâcher jusqu'à ce que, par l'effet de ce relâchement même, la circulation rétablie lui ait rendu sa contraction. Mais il est prouvé aujourd'hui que les artères coronaires ne sont pas oblitérées par le soulèvement des valvules sigmoïdes de l'aorte : une injection poussée avec continuité par une des veines pulmonaires abouchées dans l'oreillette gauche remplit les artères du cœur (3); de plus, celles-ci battent, comme les autres, pendant la systole des ventricules, et, d'après une ancienne expérience de Haller (4), le jet de sang qui s'échappe de la piqûre faite à une artère coronaire est plus fort pendant la systole ventriculaire que pendant la diastole.

Des deux précédentes hypothèses proposées pour expliquer les mouvements intermittents du cœur (*) à l'aide d'une intermittence dans l'action stimulante du

(1) *Loc. cit.*

(2) *Physiologische Bemerkungen über die* arteriæ coronariæ cordis (*Akad. zu Wien*, 1855, t. XIV, p. 345).

(3) HYRTL, *Sitzungsberichte der Wissensch.*, etc. (*Akad. zu Wien*, 1855, t. XIV, p. 373).

(4) *Deux mémoires sur le mouvement du sang et sur les effets de la saignée.* Lausanne, 1756, in-12, trad. franç., p. 35.

HALLER dit que STARKE rapporte la même expérience dans son excellente dissertation : *De reliquis instrumentis quibus sanguis in circulum*, etc., n° 22.

(*) Quant aux autres hypothèses imaginées dans le même but, SÉNAC (*Traité de la structure du cœur*, etc., t. II, chap. VII, 2e édit., p. 100) et HALLER (*Elem. physiol.*, t. I, p. 498) ont pris la

sang (soit à la surface interne de cet organe, soit dans son épaisseur), la dernière est suffisamment jugée par les faits que nous venons de rapporter contre elle. Quant à la première, fondée sur les effets du contact du sang sur la paroi interne des cavités du cœur, évidemment elle exagère ces effets en prétendant que la direction du cours du sang règle *seule* le rhythme des contractions de ces cavités. S'il en était ainsi, verrait-on un cœur séparé de l'organisme et vide de sang, ou bien même quelques lambeaux de cet organe divisé, conserver des mouvements rhythmiques pendant des heures entières, comme cela a lieu chez certains reptiles, par exemple ?

Sans vouloir nier l'influence du sang comme *stimulus* normal, favorable à l'excitation et au retour régulier des battements cardiaques, influence encore confirmée par les expériences récentes de Schiff (1), il nous paraît légitime d'admettre que le cœur porte en lui-même, en vertu de sa texture musculaire et nerveuse, la faculté d'exécuter des contractions rhythmiques. Dans le cœur, la contraction appelle le relâchement, comme, dans tous les autres muscles du corps, l'action amène l'épuisement ou la fatigue nécessitant le repos, qui lui-même rend l'activité possible. Évidemment, le contact du sang avec la surface interne du cœur n'a d'efficacité pour éveiller en lui des contractions qu'autant que le repos a permis à cet organe de réparer ses forces. Or, cette réparation ne saurait avoir lieu que grâce à la nutrition, qui elle-même réclame le concours du système nerveux.

Prouvons donc maintenant qu'une action nerveuse, d'un certain ordre, est tout aussi indispensable à l'entretien de l'irritabilité du cœur qu'à la production et à la succession de ses mouvements réguliers.

III. — On ne saurait plus soutenir aujourd'hui, avec l'école de Haller, que le cœur se trouve dans une indépendance absolue à l'égard du *système nerveux*. Il est au contraire devenu possible de démontrer, à l'aide de preuves directes et indirectes, que, pas plus que tout autre muscle, le cœur n'est affranchi de l'influence nerveuse ; qu'il doit à cette influence de ressentir si vivement les affections des autres parties du corps ; que les nerfs dont son tissu est pénétré, et qui puisent leur force dans le centre cérébro-spinal et ganglionnaire, sont nécessaires à la nutrition, à la vie de ce tissu et, partant, à sa contractilité ; que si un cœur,

peine d'en faire l'énumération et l'examen. Quoiqu'on rencontre là de grands noms, comme ceux de Descartes, Lower, Borelli, Vieussens et Chirac, Hoffmann et Stahl, Boerhaave, etc., on peut répéter, avec Sénac, qu'il ne s'agit que « d'une longue suite de vaines opinions ».

(1) *Der Modus der Herzbewegung*, etc. (VIERORDT'S, *Archiv für physiol. Heilkunde*, t. IX, p. 36).

SCHIFF est parvenu souvent à ranimer les contractions déjà éteintes du cœur, en introduisant quelques gouttes de sang dans les cavités de cet organe.

Suivant BROWN-SÉQUARD (*Comptes rendus de la Soc. de biologie*, 1849, t. I, p. 159 ; — *Experim. Researches applied to Physiology and Pathology*, 1853, p. 114), ce serait le sang veineux contenu dans les veines coronaires et leurs divisions, qui, à raison de son acide carbonique, agirait comme stimulant pour produire les contractions cardiaques. Les expériences de CASTELL (MULLER'S *Archiv für Physiol.*, etc., 1854, p. 226) ont été citées comme n'étant pas favorables à cette manière de voir ; tandis qu'après leur excision, des cœurs de grenouille continuent de battre pendant plus de *douze heures* dans l'oxygène, ils cessent leurs mouvements environ *dix minutes* après qu'on les a plongés dans l'acide carbonique. Les deux cas sont pourtant semblables au point de vue de la suppression de la circulation artérielle dans le tissu cardiaque, et du défaut d'influence de cette circulation sur la contractilité du cœur.

Ce serait une propriété du sang *chargé d'acide carbonique*, de causer, d'après Brown-Séquard, des alternatives de contraction et de relâchement non-seulement dans le cœur, mais dans presque tous les muscles.

séparé de l'organisme continue de battre pendant quelque temps, c'est qu'il recèle en lui-même des éléments nerveux dont l'action n'est pas épuisée et qui opèrent leur décharge, d'une manière intermittente, sur la fibre musculaire, etc.

Sans examiner ici en détail les conditions indispensables à l'entretien et à la manifestation de l'irritabilité musculaire (ce qui sera fait dans une autre partie de cet ouvrage), nous sommes obligé de rappeler quelques données fondamentales qui, en ce moment, trouvent leur application. Sans doute, il est permis de répéter, avec Haller, que « l'*irritabilité* est une propriété inhérente au tissu musculaire, et notamment au tissu du cœur »; on peut ajouter que, d'après nos propres expériences (*), elle est certainement indépendante du concours des *nerfs moteurs*. Mais s'ensuit-il qu'elle se dérobe à toute action nerveuse en général? Nos expériences ont démontré, au contraire, que l'*irritabilité* réclame pour son entretien le concours d'un autre ordre de nerfs que les nerfs moteurs, et de plus celui du sang artériel; double condition indispensable, non pour donner ou communiquer au tissu musculaire la propriété dont il s'agit, mais seulement pour y entretenir la nutrition, sans laquelle toute propriété physiologique disparaît d'un organe quelconque. — C'est ainsi que, dans nos vivisections, nous avons vu la section d'un cordon nerveux mixte, *qui entraîne la suppression de toute influence nerveuse*, déterminer la diminution de l'irritabilité des muscles paralysés, à partir du cinquième ou sixième jour, et son extinction après la sixième semaine; à cette époque, l'atrophie musculaire était devenue manifeste. Quant à l'irritabilité dans les muscles qui ne reçoivent plus de *sang artériel*, nous avons constaté que, chez les chiens adultes, cette durée moyenne est de deux heures et un quart dans les muscles de la jambe, après la ligature de l'aorte abdominale. Du reste, il était facile de prévoir combien ici l'abord du sang artériel est essentiel à la fois, et à l'accomplissement des phénomènes physico-chimiques qui se passent dans l'intimité des muscles, et à la manifestation de l'irritabilité : en effet, toute contraction musculaire s'accompagnant d'un dégagement de chaleur (Becquerel et Breschet), et toute production de chaleur, dans l'économie, étant due à une combustion de certains matériaux du sang, la persistance d'une circulation devait donc être indispensable au maintien de la contractilité elle-même.

Concluons d'abord que, dans le cœur comme dans tout autre muscle, l'irritabilité dérive de la texture même de l'organe, mais que cette propriété a besoin, pour s'exercer, de la double influence du sang artériel et des nerfs de nutrition.

Si le système nerveux n'est pas étranger à l'entretien de l'*irritabilité du cœur*, il ne paraît pas l'être non plus à la coordination et à la production de ses *mouvements rhythmiques*. Nous avons déjà dit qu'un cœur *vide de sang*, et arraché de la poitrine d'un animal, continue de battre, et que, par conséquent, il y aurait erreur à croire que la direction du cours du sang à travers les cavités cardiaques règle *seule* le rhythme de leurs contractions. Nous en dirons autant de l'opinion

(*) LONGET, *Rech. expérim. sur les conditions nécessaires à l'entretien et à la manifestation de l'irritabilité musculaire, avec applications à la pathologie* (*Examinateur médical*, Paris, 1841.)

Ces recherches, antérieures à celles qui ont été faites depuis avec le *curare* (*a*), avaient déjà prouvé que l'élément musculaire possède son irritabilité en lui-même, indépendamment de tout nerf moteur; en d'autres termes, que l'*irritabilité* dans les muscles et l'*excitabilité* ou motricité dans les nerfs sont deux propriétés entièrement distinctes.

(*a*) PELOUZE et CL. BERNARD, *Comptes rendus de l'Acad. des sc. de Paris*, octobre 1850, t. XXXI, p. 533.

qui considère le sang chargé d'acide carbonique comme remplissant un pareil rôle. Dans ces dernières années, Remak (1), puis Lee (2) et Bowman (3), ont signalé la présence de petits ganglions sur l'extrémité périphérique des nerfs du cœur : comme cela résulte de l'examen confirmatif d'autres observateurs, ces ganglions existent, d'une part, dans l'épaisseur de la cloison interauriculaire, et, d'autre part aussi, dans l'épaisseur des ventricules, notamment vers leur base, c'est-à-dire dans le voisinage des valvules auriculo-ventriculaires. Or, opérant sur des *grenouilles*, dont le cœur bat d'une manière régulière encore plusieurs heures après son isolement, quelques expérimentateurs ont eu l'idée de faire des coupes de cet organe en des lieux différents, pour en observer les effets. Volkmann (4), par exemple, a vu que, si, à l'aide d'une section transversale, on sépare la portion auriculaire du cœur de sa portion ventriculaire, l'une et l'autre peuvent présenter encore leurs mouvements rhythmiques, mais que les mouvements de la première ne sont plus en harmonie avec ceux de la seconde. Il est pourtant arrivé aussi que le ventricule est demeuré immobile. Ayant pratiqué, plus inférieurement, une section transversale du cœur, de manière que la base du ventricule restât unie aux oreillettes, Ludwig (5) affirme avoir observé que ce fragment supérieur, qui renferme les ganglions indiqués, continuait à battre régulièrement, tandis qu'en général le fragment inférieur entrait en repos. Cette assertion a été confirmée par les expériences de Heidenhem (6), dont les résultats semblent être encore plus absolus. Quant à Bidder (7), il n'hésite pas à attribuer à l'action des ganglions situés dans l'épaisseur de la cloison interauriculaire, la persistance des mouvements rhythmiques des oreillettes après leur séparation du ventricule; mouvements qui, comme il le rappelle, ont normalement pour caractère essentiel, après avoir commencé dans les oreillettes, de se propager de là au ventricule. Aussi ces sortes de mouvements ne s'aperçoivent-ils plus dans cette dernière cavité une fois qu'elle a été isolée des ganglions interauriculaires qui, comme centres de coordination, primeraient par conséquent les ganglions ventriculaires.

Malgré quelques légères dissidences de ces observateurs, il y a donc accord entre eux, pour rapporter à certains ganglions, situés dans le tissu même du cœur, la succession de ses contractions régulières.

Mais empressons-nous d'ajouter que cela ne veut pas dire que ces éléments nerveux soient indépendants du centre cérébro-spinal, et qu'on doive les regarder comme la source qui, dans l'état physiologique, entretient à elle seule les mouvements du cœur. Si ces ganglions ont une force propre, assurément aussi ils empruntent au centre nerveux un principe d'action qu'ils ont le pouvoir de dépenser d'une manière lente, d'après un type intermittent ; et c'est ainsi qu'ils paraissent entretenir, pendant un temps plus ou moins long, les battements d'un cœur séparé de toutes ses connexions avec le système nerveux central.

Nous voici enfin amené à étudier les *rapports du système nerveux central avec*

(1) MÖLLER'S *Archiv für Anat.*, etc., 1844, p. 463, pl. 12.
(2) *Philos. Transact.*, 1849, p. 43, pl. 1 à 5.
(3) BOWMAN et TODD, *Physiol. Anat.*, t. II, p. 342.
(4) MÖLLER'S *Archiv für Anat. und Physiol.*, 1844, p. 423 et suiv.
(5) MÖLLER'S *Archiv*, etc., 1848, p. 139.
(6) CANSTATT'S *Jahresbericht*, etc., 1855, t. I, p. 130.
(7) MÜLLER'S *Arch.*, etc., 1852, p. 163.

les *mouvements du cœur*, c'est-à-dire à examiner aux points de vue historique, critique et expérimental, une des questions les plus mystérieuses et les plus controversées de la physiologie.

Les moyens d'innervation propres à entretenir le jeu d'un organe se multiplient en raison de l'importance physiologique de cet organe. Or, les mouvements du cœur étant des plus essentiels à la conservation de la vie, la nature devait employer les artifices de toutes sortes pour en assurer l'intégrité : aussi allons-nous voir, en effet, le cœur recevoir de points multiples des centres cérébro-spinal et ganglionnaire des influences diverses, dont les unes semblent avoir pour but spécial l'exciter ses contractions, et les autres de les suspendre à des intervalles réguliers. Comme le prouvera aussi l'examen qui va suivre, l'erreur d'un grand nombre de physiologistes a donc consisté surtout à vouloir trop localiser et spécifier un principe d'action dont l'origine et le mode d'influence sont certainement multiples.

A. — Jusqu'à Rob. Whytt (1), Gilbert Blane (2) et surtout Prochaska (3), c'est-à-dire jusqu'à la fin du siècle dernier, l'encéphale était considéré comme la *source unique* de la puissance nerveuse; aussi, à l'exemple de Piccolomini (4) qui, un des premiers, vers la fin du XVIe siècle, affirma que le cœur soutire du cerveau, *à l'aide des pneumogastriques*, le principe de ses contractions, vit-on beaucoup d'expérimentateurs attribuer, à tort, à l'arrêt du cœur, la mort soudaine observée par eux dans quelques cas de ligature ou de section des précédents nerfs. On sait, depuis Legallois, qu'une fin aussi rapide était due exclusivement à l'occlusion de la glotte, si facile chez les jeunes animaux. — Willis (5), qui faisait dériver du *cervelet* tous les mouvements involontaires, localisant plus que Piccolomini l'origine de l'action de l'encéphale sur le cœur, pensa que le *cervelet* représente le foyer duquel émane l'influence excitatrice des battements cardiaques, influence qui se transmettrait au cœur par le pneumogastrique. Si la section de ce nerf n'entraînait pas toujours la mort subite, c'était, d'après Willis, parce qu'en pareil cas un reste d'influx nerveux, transmis par le grand sympathique, entretenait les contractions du cœur pendant un certain temps. Mais la vérité est que, sur des mammifères, on peut à la fois enlever le cervelet et reséquer les deux nerfs pneumogastriques, et voir les mouvements cardiaques persister jusqu'à la mort, qui n'arrive généralement que du second au troisième jour, surtout par suite d'un engouement pulmonaire. Évidemment, si l'opinion de Willis était fondée, la mort devrait survenir dans un laps de temps beaucoup plus court.

D'après les faits qui précèdent, on est, il est vrai, autorisé à conclure que l'intervention de l'encéphale (du moins celle du cerveau et du cervelet), n'est pas *prochainement* nécessaire à l'action du cœur. Mais cela ne saurait empêcher de reconnaître ce qu'une observation journalière démontre, c'est-à-dire une influence sympathique, *médiate*, du centre des facultés intellectuelles et affectives sur les battements du cœur : une impression morale peut occasionner des palpitations; une vive frayeur amène la suspension des contractions cardiaques, la syncope, etc.

(1) *Des vapeurs et des maladies nerveuses*. Paris, 1767, trad. franç., t. I, p. 265-295.
(2) *Philos. Transact.*, 1788, et *Select. Dissert.*, p. 262.
(3) *Op. min.: Anat. physiol. et pathol. argum.* Viennæ, 1800, pars secunda, cap. IV.
(4) *Anatom. prælectiones*. Romæ, 1586, in-fol., p. 272.
(5) *Cerebri anat.*, etc. Amsterdam, 1683, p. 195.

B. — Nous avons déjà dit que Haller (1) avec son école, proclamant la doctrine de l'*irritabilité* et déclarant le *cœur* éminemment irritable, regardait le sang comme son excitant naturel, et le système nerveux comme tout à fait étranger à ses contractions. Comme preuves de l'indépendance dans laquelle le cœur serait de toute action nerveuse, Haller alléguait : 1° que la stimulation des nerfs cardiaques ne cause aucun changement dans les contractions de cet organe, et ne les rappelle pas quand elles ont cessé; 2° que l'irritation des moelles allongée et épinière ne produit aucun effet sur le cœur; 3° que, si l'on interrompt toute communication entre lui et le cerveau, « *source unique de la puissance nerveuse* », les mouvements cardiaques continuent comme auparavant; ce qui a lieu, par exemple, pour un cœur qu'on vient d'arracher de la poitrine d'un animal vivant.

Mais aucun de ces arguments n'est inattaquable. En effet, il est démontré aujourd'hui que la stimulation électrique de certains filets nerveux du cœur peut changer ses pulsations ou les éveiller de nouveau quand elles viennent de s'éteindre, et que la même stimulation appliquée à d'autres parties du système nerveux (moelle allongée et nerfs pneumogastriques) peut, quand elle est intense, *arrêter* aussitôt les contractions cardiaques. — Les expériences de Wedemeyer (2) et surtout celles de Wilson Philip (3), nous ont appris que l'irritation de la moelle épinière n'est pas non plus sans effet sur le cœur. Celles de Wilson Philip ont fait voir que, sur des animaux décapités, l'humectation de la moelle avec de l'alcool accroît les battements cardiaques, tandis que la dissolution d'opium ou d'infusion de tabac, après les avoir accélérés, les ralentit bientôt; qu'enfin, dans ces cas, la *portion cervicale de la moelle* est celle qui exerce le plus d'influence. — La persistance temporaire des contractions, dans un cœur séparé de l'axe cérébro-spinal, ne prouve aucunement qu'elles aient lieu sans l'intervention du système nerveux : nous avons dit, plus haut, les nouvelles expériences qui rendent compte de ce phénomène autrement que ne l'entendait Haller. En examinant alors avec détail la *théorie hallérienne*, nous croyons avoir fourni les arguments propres la faire rejeter, telle du moins qu'elle a été formulée par son illustre auteur, et avoir rendu aux faits sur lesquels elle s'appuie leur véritable interprétation. Nous n'avons donc pas à revenir sur l'examen de cette théorie.

C. — Frappé de l'insuffisance de la théorie hallérienne, et admettant une *action propre* à la fois dans les ganglions lymphatiques et dans la moelle épinière, Prochaska (4) fait émaner spécialement des premiers la force nerveuse qui entretient les contractions du cœur. Cette opinion a été défendue, de nos jours, surtout par Lallemand (de Montpellier) (5) et par Brachet (6).

A l'appui de cette manière de voir, Brachet cite des expériences qu'il a entreprises sur des animaux. « Deux moyens, dit-il, se présentaient pour prouver par

(1) *Dissert. sur l'irritabilité* (*Mém. sur la nature sensible et irritable des parties du corps humain*. Lausanne, 1756, t. I, p. 72).

(2) *Untersuch. über den Kreislauf des Blutes*, etc. Hannover, 1828, p. 325.

(3) *An Experim. Inquiry into the Laws of the vit. Funct.*, etc., chap. II, p. 80, et chap. XI, p. 243.

(4) *Commentatio de funct. system. nerv.*, publié en 1784 dans le troisième fascicule des *Adnotat. academ.* de cet auteur, et réimprimé dans ses *Opera omnia* (Vienuæ, 1800).

(5) *Observ. pathol. propres à éclairer* plusieurs points de physiol., thèse inaugur. Paris, 1818.

(6) *Rech. expérim. sur les fonct. du syst. nerv. gangl.* Paris, 1837, 2e édit., p. 159.

le fait l'action des nerfs ganglionnaires sur le cœur : ou bien, il fallait détruire tous les ganglions qui fournissent les nerfs cardiaques, ou bien il fallait aller près du cœur faire la section de ces nerfs réunis. » Après avoir placé, chez un chien (expér. 28), des ligatures sur les deux artères sous-clavières, cet expérimentateur assure qu'il parvint à isoler, de chaque côté, les ganglions cervicaux inférieurs, et à faire la section de tous les filets nerveux qui en partent : « *sur-le-champ*, le cœur, après quelques contractions irrégulières, cessa tous ses mouvements. » Même résultat sur un second chien.

Mais Brachet, ayant répété la même opération (expér. 29), vit, sur plusieurs autres animaux de la même espèce, les mouvements du cœur, d'abord irréguliers, se régulariser assez pour ranimer la circulation, faire gonfler les carotides, et fournir un jet de sang artériel suffisant pour prouver que la circulation continuait. Cet auteur chercha alors la cause de cette réapparition de la circulation, et il crut l'avoir trouvée dans l'existence du *ganglion cardiaque*. « Après bien des tentatives pour l'isoler (sur un jeune dogue), je portai, dit-il, sur mes doigts des ciseaux dans la plaie, et je fis la section de ce corps plexiforme. La circulation, qui se faisait bien l'instant d'auparavant, fut *arrêtée sur-le-champ ;* le cœur cessa de se contracter, l'animal se roidit convulsivement, et périt. » Même succès sur des lapins.

Pour réduire à leur juste valeur les expériences et l'assertion précédentes, qu'il me suffise de rapporter une expérience facile à reproduire, et que j'ai répétée nombre de fois dans mes cours de vivisections (1). Cette expérience consiste, après avoir excisé le cœur d'un animal vivant (chien), et en avoir retranché les gros vaisseaux, à racler à sa base la portion ventriculaire de l'organe de façon à détruire complétement le plexus ganglionnaire situé dans ce point : en pareil cas, j'ai toujours vu les battements du cœur persister pendant un temps variable suivant l'âge de l'animal.

Toutefois il ne faudrait pas aller nier la participation que le système nerveux ganglionnaire peut avoir dans l'entretien et la succession des mouvements du cœur. Afin de prouver cette participation, nous pouvons rappeler les expériences concordantes de Volkmann, Ludwig, Bidder et Heidenheim, expériences que nous avons citées précédemment (page 772), et desquelles il résulte que certains ganglions situés dans le tissu même du cœur entretiennent les mouvements rhythmiques qu'on observe encore, pendant un temps plus ou moins long, dans cet organe séparé de toutes ses connexions avec le système cérébro-spinal. Puis, à ces arguments fournis par l'expérimentation, on peut ajouter ceux que donne l'observation des fœtus amyélencéphales, chez qui l'action propre des ganglions sympathiques paraît, en effet, suffire à l'entretien des battements du cœur pendant la vie intra-utérine, en l'absence ou après la destruction pathologique de l'encéphale et de la moelle épinière (*). D'après la remarque de Breschet et de Lallemand, les ganglions du grand sympathique offrent, chez ces monstres, un volume plus considérable que chez les fœtus normaux ; condition évidemment propre à augmenter l'énergie fonctionnelle de ces ganglions d'ailleurs riches en substance grise et en vaisseaux.

(1) LONGET, *Anat. et physiol. du syst. nerv.* Paris, 1842, t. II, p. 605.

(*) Consultez, pour ces cas d'anatomie anormale : MORGAGNI, *De sedibus et causis morborum*, epist. XLVIII, n° 50. — VAN HORNE, *Miscellanea nat. curios.*, dec., ann. 3, obs. 129. — RUYSCH, cité par KERKRING, *Spicilegium anat.*, obs. 23. — LITTRE, *Hist. de l'Acad. des sc. de Paris*, année 1701, p. 24. — SUE, *ibid.*, 1746, obs. 6, n° 1. — FAUVEL, *ibid.*, 1711, obs. anat., p. 26. — HERY, *ibid.*, ann. 1712, p. 40, obs. anat. 6. — LALLEMAND, *Thèse cit.*

— Mais il n'en est pas moins généralement reconnu qu'ici on ne peut rigoureusement conclure du fœtus à l'adulte, et que, par conséquent, de semblables observations ne sauraient démontrer que, chez l'animal adulte, comme le voulait Prochaska, le système nerveux ganglionnaire *seul* fournisse au cœur le principe nerveux qui l'anime.

D. — Nous abordons une autre opinion qui, à l'époque où elle fut émise (en 1811), jouit d'abord d'une grande vogue, puis fut combattue par divers expérimentateurs qui, à leur tour, exagérèrent la signification de leurs expériences, comme l'auteur de l'opinion dont il s'agit avait exagéré la portée des siennes.

Legallois chercha à démontrer expérimentalement que le principe d'activité du cœur dérive de la moelle épinière, et sa conclusion fut qu'en effet le cœur tire le principe de ses battements *de tous les points* de la moelle, par l'entremise du grand sympathique qui provient de cet axe nerveux (1).

Chez un lapin *âgé de vingt jours* (2), ayant introduit un stylet dans le canal vertébral, entre la dernière vertèbre du dos et la première lombaire, Legallois détruisit la *moelle lombaire*. Au bout d'une minute et demie, la respiration s'arrêta et fut bientôt remplacée par des bâillements assez rares qu'accompagnaient de faibles mouvements du thorax, et qui cessèrent tout à fait *à trois minutes et demie*, époque à laquelle il n'y avait plus aucun signe de vie. Cette expérience, répétée sur deux autres lapins du même âge, eut la même issue. Legallois essaya, dans un cas, de prolonger l'existence en insufflant de l'air dans les poumons avant que la sensibilité et les bâillements fussent éteints; mais ces phénomènes disparurent tout aussi promptement que s'il n'avait rien fait. La mort était irrévocable. — Le même auteur détruisit la *moelle dorsale* sur des lapins âgés de vingt jours, en introduisant entre la première vertèbre lombaire et la dernière dorsale un stylet qu'il enfonça jusqu'à la dernière vertèbre du cou. La vie cessa au bout de *deux minutes*. Cette expérience, répétée plusieurs fois, donna toujours le même résultat. L'insufflation pulmonaire fut encore pratiquée sans aucun succès. — Pour détruire la *moelle cervicale* chez des lapins du même âge que les précédents, le stylet fut introdnit entre l'occipital et la première vertèbre. Sachant que la destruction de cette portion de la moelle diffère de celle des deux autres en ce qu'elle anéantit subitement tous les mouvements inspiratoires du thorax, Legallois pratiqua, surtout dans ces cas, l'insufflation pulmonaire avec le plus grand soin, afin de suppléer la respiration normale : mais tous les signes de vie ne s'évanouirent pas moins après *une minute et demie*.

Suivant l'auteur de ces expériences, la cause de la mort doit être rapportée, dans tous ces cas, au *défaut d'action du cœur*.

Mais on sait que l'action du cœur est d'autant moins prochainement nécessaire à l'animal qu'il est plus jeune. Or, si la destruction d'une des trois portions de la moelle suffit pour tuer, en si peu d'instants, des lapins âgés de vingt jours (la destruction de la région cervicale étant encore plus rapidement mortelle que celle de la région dorsale ou lombaire), il restait à savoir s'il en serait de même chez des animaux plus jeunes : d'après Legallois (3), la destruction de la moelle lombaire

(1) *Œuvres complètes*, avec des notes de Pariset. Paris, 1830, t. I, p. 144.
(2) *Ibid.*, t. I, p. 72 et suiv.
(3) *Ouvr. cit.*, t. I, p. 76, 77 et suiv.

ne fait pas périr presque subitement les lapins âgés de moins de dix jours. « Quand je dis, ajoute Legallois, que cette destruction ne fait pas périr les très jeunes lapins, je ne prétends pas affirmer qu'ils s'en rétablissent; je veux seulement dire qu'ils n'en meurent pas subitement à la manière des lapins de vingt jours et au delà, mais au bout d'un temps plus ou moins long. » Il avance aussi que, « la destruction de la moelle dorsale n'est pas toujours très rapidement mortelle dans les tout jeunes lapins ». Quant à la destruction de la moelle cervicale, la plupart en meurent aussitôt, dès le premier jour de leur naissance. A la vérité, jusqu'à l'âge de dix jours, l'insufflation pulmonaire peut prolonger la vie de quelques-uns; mais, en général, ce n'est que pour un temps assez court, et les signes de vie qu'ils donnent sont faibles. — Enfin, la destruction simultanée des trois portions de la moelle serait constamment et *subitement mortelle à tous les âges*, par suite de l'arrêt de la circulation.

On n'a pas manqué tout d'abord d'objecter à Legallois que le cœur, arraché de la poitrine d'un animal vivant, continuait de se mouvoir, et que, par conséquent, les contractions de cet organe devaient encore persister après qu'on a détruit la moelle épinière. Legallois lui-même (1) avait reconnu, par l'expérience, l'exactitude de ces faits; mais, dans cette dernière circonstance, il regarde les mouvements du cœur comme tellement affaiblis, qu'ils ne peuvent plus entretenir la circulation, et comme seulement analogues à ceux qu'on observe dans les autres muscles qui demeurent irritables plus ou moins longtemps après la mort : « Dans ces derniers, dit-il, les mouvements n'ont lieu que quand on stimule directement le muscle ou le nerf qui s'y rend, et il n'y a qu'un mouvement pour chaque renouvellement du stimulus. Dans le cœur, les mouvements se répètent spontanément, parce que le sang qu'il contient en est le stimulus naturel. » Puis, afin de prouver qu'après la destruction de la moelle, la circulation générale est abolie, malgré la persistance des faibles contractions du cœur et malgré l'insufflation pulmonaire, Legallois cite l'absence d'hémorrhagie quand on coupe une grosse artère d'un membre, la vacuité et l'aplatissement des carotides, ou bien l'écoulement d'un sang noir provenant des artères. Il reconnaît d'ailleurs que ces signes peuvent offrir parfois quelque incertitude, quand il s'agit de démontrer l'instantanéité de la cessation de la circulation après qu'on a détruit la moelle épinière.

La doctrine de Legallois, qui fait résider dans la *moelle épinière* le principe des mouvements du *cœur*, commençait à peine à s'établir en France, qu'un physiologiste anglais, Wilson Philip (2), la combattit par des expériences desquelles il conclut, avec Haller, que l'action du cœur et de tous les muscles involontaires, indépendante du système nerveux, émane d'une force inhérente à la fibre musculaire. — Après avoir étourdi des lapins par un coup porté sur le derrière de la tête, Wilson Philip leur enleva la moelle épinière et le cerveau, et maintint la respiration par des moyens artificiels : malgré une semblable mutilation, il aurait vu la circulation et les mouvements du cœur s'opérer comme dans l'état de vie, pendant une demi-heure et même davantage.

Des résultats analogues furent obtenus, sur des animaux d'espèces différentes,

(1) *Ouv. cit.*, p. 85.
(2) *An Experim. Inquiry into the Laws of the vital Functions*, etc. London, 1817, p. 60 et suiv. (*Biblioth. univ. Genève*, 1819, t. X, p. 182).

par C. A. Weinhold (1), C. F. Nasse (2), Flourens (3), Wedemeyer (4), etc. Du reste, avant ces expérimentateurs, Zimmermann (5) et Spallanzani (6), ayant opéré, l'un sur un chien et l'autre sur une salamandre, avaient déjà reconnu que la destruction du cerveau et de la moelle épinière est loin d'entraîner la paralysie du cœur aussi rapidement que Legallois devait le prétendre plus tard : Zimmermann et Spallanzani avaient expérimenté en vue de la théorie hallérienne.

Flourens (7), dans ses expériences sur des lapins, des chats, des chiens, des cabiais et des poules, est parvenu, après la destruction de la moelle et même de tout l'axe cérébro-spinal, à entretenir la circulation plus longtemps encore que ne l'avait fait Wilson Philip, c'est-à-dire pendant une heure et une heure et demie. Toutefois Flourens s'est bien gardé d'adopter la conclusion de Wilson Philip et de Haller : « Le système nerveux, dit-il, concourt à l'énergie et à la durée de la circulation, non-seulement d'une manière générale et absolue, mais encore d'une manière spéciale et déterminée ; car, lorsqu'une région déterminée du système nerveux (*moelle*) est seule détruite, c'est toujours dans les seules parties correspondantes à cette région que la circulation se montre surtout affaiblie. Il y a donc une influence générale, c'est-à-dire de tout le système sur toute la circulation, et des influences locales et partielles des diverses régions de l'un sur les diverses régions de l'autre. »

Contre les assertions évidemment exagérées de Legallois, je rappellerai que, dans les expériences que j'ai faites (1839-48) sur les cordons de la moelle, j'ai fréquemment, chez des chiens *adultes*, retranché la portion lombaire de cet organe, ainsi que la plus grande longueur de sa portion dorsale, et que la mort n'est, en général, survenue que plusieurs heures après cette grave mutilation. Plus récemment, Brown-Séquard (8) a constaté qu'après la destruction de la moitié (en longueur) de la moelle épinière, sur des pigeons, la vie peut durer aussi longtemps que chez ces oiseaux intacts. Le même observateur a conservé, pendant près de trois mois (du 8 avril au 4 juillet), un jeune chat auquel il avait enlevé toute la moelle lombaire. L'animal est mort par accident étranger à cette lésion.

La plupart des précédents résultats ne s'accordent donc guère avec les affirmations trop absolues de Legallois.

Cependant il y aurait aussi exagération et erreur à vouloir nier toute influence de la moelle sur les mouvements du cœur. Cette influence existe, et dès lors il est rationnel de supposer que, chez un animal récemment décapité, l'irritation mécanique, chimique ou galvanique de la moelle épinière doit modifier ces mouvements.

En effet, Volkmann (9), à la suite de la stimulation électrique de la moelle

(1) *Versuch über das Leben und seine Grundkräfte auf dem Wege der Experimentalphysiologie*. Magdeburg, 1817.

(2) *Untersuch. zur Lebensnaturlehre und zur Heilkunde*. Berlin, 1818.

(3) *Rech. expérim. sur les propr. et les fonct. du syst. nerv.* Paris, 1824, p. 191. — et 2e édit., Paris, 1842, p. 216 et suiv.

(4) *Untersuch. über den Kreislauf des Blutes*, etc. Hannover, 1828.

(5) *Dissert. physiol. de irritabilitate*. Gœttingen, 1751, in-4.

(6) *Expér. sur la circulat.*, trad. franç., p. 342.

(7) *Loc. cit.*

(8) *Comptes rendus de la Soc. de biologie*, t. II, p. 29. — *Compt. rend. de l'Acad. des sc. de Paris*, 1850, t. XXX, p. 828, — et *Experim. Researches*, etc., p. 15.

(9) MÜLLER'S *Archiv.*, 1845, p. 416.

épinière, a constaté des changements dans le rhythme des battements du cœur. J'avais déjà obtenu de semblables résultats, en faisant passer un courant électrique à travers la portion cervicale de la moelle d'animaux préalablement décapités. Longtemps auparavant, Wilson Philip (1) avait reconnu que l'humectation de la moelle épinière avec de l'alcool accroît les battements cardiaques, mais que la dissolution d'opium ou l'infusion de tabac, après les avoir accélérés, les ralentit bientôt; qu'enfin, dans ces cas, *la portion cervicale de la moelle* est celle qui exerce le plus d'influence. Ces expériences (avec l'alcool) m'ont souvent réussi sur des animaux d'abord privés de leur encéphale, et même les phénomènes se sont manifestés très rapidement. Les expériences concordantes de Clift (2), de Wedemeyer (3), etc., établissent que la destruction de la moelle épinière, quand elle a lieu d'une manière subite, entraîne une accélération instantanée des battements du cœur, promptement suivie d'une grande diminution dans leur énergie. Nasse (4) a également vu, chez des chiens dont il entretenait la circulation par une respiration artificielle, qu'après la destruction de la moelle épinière, les battements du cœur devenaient plus lents et plus faibles, de sorte que le sang de l'artère crurale, qui auparavant s'élançait à quelques pieds, ne jaillissait plus qu'à plusieurs pouces, ou même ne formait plus de jet. — Nous-même, ayant préalablement lié les deux carotides primitives et les deux artères vertébrales, sur des chiens adultes, avons décapité ces animaux au-dessous du bulbe rachidien, avec la précaution de pratiquer en même temps l'insufflation artificielle; puis, le cœur étant mis rapidement à découvert pour constater, *de visu*, l'énergie de ses contractions, nous avons immédiatement détruit, à l'aide d'une tige de fer, toute la moelle épinière: après un temps d'*arrêt*, les contractions sont devenues très précipitées pendant quelques secondes, puis elles ont été surtout beaucoup plus faibles qu'avant la destruction de la moelle. Nous avons plusieurs fois répété l'expérience, en nous servant de deux chiens également décapités, et chez lesquels une ouverture faite à la poitrine permettait d'observer directement le cœur : nous avons vu constamment, chez l'animal dont la moelle avait été détruite, les contractions cardiaques faiblir d'une manière très sensible, comparativement à celles de l'autre animal dont la moelle était demeurée intacte.

L'influence excitatrice de la moelle épinière sur les mouvements du cœur est encore prouvée par le trouble que cet organe présente dans certains cas pathologiques où l'altération réside exclusivement dans la moelle. Ollivier (d'Angers) (5) en a rapporté divers exemples.

Dans le but d'établir que les contractions du cœur sont absolument indépendantes de la moelle épinière, quelques auteurs ont surtout invoqué les observations des fœtus amyélencéphales, chez lesquels les mouvements cardiaques avaient existé jusqu'à la naissance, c'est-à-dire en l'absence de tout l'axe cérébro-spinal frappé d'un arrêt de développement et depuis longtemps disparu de l'organisme. Mais on a répondu que le fœtus ne jouit pas d'une vie individuelle propre, qu'il n'est pour ainsi dire qu'une partie de l'organisme maternel, qu'il est d'ailleurs dans des con-

(1) *Ouvr. cit.*, chap. II, p. 80 ; chap. XI, p. 243.
(2) MECKEL'S *Deutches Arch.*, t. II, p. 140, et dans *Philos. Transact.*, 1815.
(3) *Untersuchungen*, etc., p. 235.
(4) *Loc. cit.*
(5) *Traité des maladies de la moelle épinière*, passim, et t. I, p. 152, 3e édit.

ditions circulatoires tout à fait spéciales et différentes de celles où se trouve l'enfant après sa naissance, et que, par conséquent, de semblables observations ne sauraient aucunement démontrer que, chez l'homme ou l'animal *adulte*, l'influence de la moelle dût être nulle sur les mouvements du cœur.

Breschet et Lallemand, nous l'avons dit, ont d'ailleurs fait remarquer que les ganglions du grand sympathique offrent, chez de pareils monstres, un volume plus considérable que chez les fœtus normaux. Cela ne pourrait-il suffire pour augmenter l'énergie fonctionnelle de ces ganglions et les rendre capables de suppléer l'influence de l'axe cérébro-spinal ? Il ne faut pas oublier, en effet, que les renflements ganglionnaires du grand sympathique sont riches en substance grise et en vaisseaux, et que, dans certaines limites, ils peuvent être, comme la matière grise de la moelle elle-même, des centres producteurs de la force nerveuse. — On est d'autant plus porté à admettre que la seule intervention du grand sympathique est *d'abord* suffisante, que, d'après Tiedemann, la substance grise de la moelle n'apparaît, chez le fœtus, que vers le sixième ou le septième mois. Mais, plus tard, la force nerveuse destinée à animer le cœur devant être augmentée, les sources d'où elle provient devaient se multiplier; aussi, selon nous, voit-on s'associer nécessairement dans leur action, et la substance grise ganglionnaire, et la substance grise de la moelle, quoique chacune d'elles fournisse isolément le principe nerveux. De la sorte on s'explique, d'une part, l'entretien de la circulation chez les fœtus amyélencéphales, et, de l'autre, la persistance de la circulation, même chez l'adulte, plusieurs heures après la destruction de la moelle épinière.

Faut-il encore rappeler que des expériences récentes ont démontré que de petits renflements ganglionnaires, existant dans la substance même du cœur, ne sont pas étrangers à l'entretien des contractions plus ou moins durables de cet organe, après qu'on l'a séparé de l'axe cérébro-spinal et du cordon cervical du grand sympathique ?

Concluons donc qu'il n'existe aucun argument irrécusable en faveur de la *non-influence* de la moelle sur les mouvements du cœur *chez l'adulte ;* qu'au contraire, des faits multipliés, empruntés à l'expérimentation et à la pathologie, établissent l'intervention plus ou moins prochainement nécessaire de ce centre nerveux, pour l'entretien de la circulation.

E. — Pour terminer l'étude du rôle que joue le système nerveux dans la production et la succession des mouvements du cœur, il nous reste à faire connaître les relations physiologiques qui existent entre cet organe d'une part, la moelle allongée et les nerfs pneumogastriques d'autre part. Ce point si intéressant de physiologie est un de ceux qui, dans ces derniers temps, ont le plus exercé la sagacité des expérimentateurs.

On sait que plusieurs d'entre eux n'ont pas hésité à considérer la *moelle allongée* (bulbe rachidien) comme le centre duquel dérive le principe incitateur des mouvements cardiaques, et les nerfs *pneumogastriques* comme les voies spéciales de transmission de ce principe au cœur; de même que, d'après une autre doctrine déjà exposée, les nerfs ganglionnaires (grand sympathique) transmettraient au cœur son principe d'action émané de la moelle épinière. Or, les faits sur lesquels divers physiologistes se sont fondés pour formuler d'une manière aussi simple la première opinion, ont paru à d'autres être des plus singuliers, complétement imprévus et

des plus difficiles à ranger dans une théorie quelconque de l'action nerveuse. Quand nous aurons exposé ces faits, fournis par l'expérimentation, nos efforts devront donc tendre à les systématiser, et à substituer une théorie rationnelle à des explications incomplètes ou évidemment erronées.

A l'exemple de Budge (1), de Ed. et E. H. Weber (2), on peut mettre en évidence l'action de la moelle allongée sur les mouvements du cœur, en faisant traverser ce foyer d'innervation par un courant galvanique, intense et discontinu : par là, on détermine aussitôt l'*arrêt* des battements cardiaques. Puis, quand on vient à examiner attentivement le cœur, on constate avec surprise qu'au lieu d'avoir été mis dans un état spasmodique, comme il arrive en pareil cas aux muscles de la vie animale, cet organe est dans un état absolument inerte, c'est-à-dire dans le *relâchement*.

L'expérimentation a également appris à ces observateurs que le même effet résulte de la galvanisation des *pneumogastriques, qui, par conséquent*, indépendamment de leurs autres usages, *sont chargés de transmettre au cœur l'influence spéciale qu'exerce sur lui la moelle allongée.*

A l'appui de cette dernière proposition, il importe de citer quelques expériences qui ne paraîtront pas sans intérêt.

Pendant le passage, à travers la moelle allongée, du courant énergique d'un appareil d'induction, et durant l'état de relâchement et l'arrêt qui en résultent pour le cœur, vient-on à couper les nerfs pneumogastriques ou bien à les lier, aussitôt cet organe se remet à battre et à se contracter comme à l'ordinaire; comme si l'influence spéciale de la moelle allongée, en cessant d'arriver par ses voies naturelles au cœur, donnait par cela même un plus libre cours à une *influence excito-motrice*, émanée d'ailleurs. — Une galvanisation intense des pneumogastriques, si elle se prolonge, équivaut à leur section ou à leur ligature, c'est-à-dire que les battements cardiaques, d'abord suspendus, reparaissent bientôt pendant le passage même du courant, et que vainement alors on galvanise la moelle allongée, sans pouvoir déterminer le relâchement du cœur : ces tentatives restent vaines aussi longtemps que dure l'épuisement des pneumogastriques ou leur inaptitude à remplir leur rôle ordinaire d'agent de transmission. — Il en est encore de même dans l'expérience suivante : sur une grenouille empoisonnée par le *curare* (3) et dont le cœur continue de battre, mais chez laquelle aussi, comme tous les autres nerfs moteurs, les troncs mixtes des pneumogastriques ont perdu leur excitabilité, on a beau diriger un courant intense à travers le bulbe rachidien, les pulsations cardiaques n'en continuent pas moins. — Enfin rappelons qu'il existe une substance employée chaque jour, comme médicament, dans le but de calmer ce qu'on appelle les *palpitations* du cœur : c'est la digitale, dont les effets sédatifs sont dus, non à une action directe sur cet organe, mais à une influence particulière sur la moelle allongée (bulbe rachidien), influence transmise au cœur par les pneumogastriques. En effet, Traube (4), ayant injecté une certaine quantité d'infusion de digitale dans les veines d'un chien, a vu, une heure

(1) *Archives de* ROSER et WUNDERLICH, 1846, V, p. 319 et 540. — R. WAGNER'S *Handwörterbuch der Physiol.*, t. III, p. 413.

(2) MÜLLER'S *Archiv für Anat.*, etc., 1846, p. 497.

(3) CL. BERNARD, *Leçons sur les substances toxiques et médicamenteuses*. Paris, 1857, p. 348-367.

(4) CANSTATT'S *Jahresbericht über die Fortschritte der Medicin*, 1853, t. V, p. 121.

après, le pouls descendre de 125 pulsations à 32 : tandis que la même expérience, répétée sur un chien auquel avaient été coupés les pneumogastriques, n'a donné lieu à aucun changement dans les battements du cœur. N'est-ce pas encore là une de ces éclatantes preuves militant contre la théorie hallérienne, qui, à tort, regarde l'organe central de la circulation comme indépendant du système nerveux ?

Qu'il nous suffise donc de ces différents exemples pour prouver que les relations physiologiques, *toutes spéciales*, qui existent entre la moelle allongée et le cœur, sont établies par l'entremise des pneumogastriques.

Mais, avant d'aller plus loin et de chercher à pénétrer la nature de ces relations, rappelons que, dans le tronc mixte de chaque pneumogastrique, se trouvent à la fois des filets propres à ce dernier nerf et d'autres filets venus de la branche interne du spinal (accessoire de Willis). Or, l'expérimentation a-t-elle appris quelque chose sur la part de chacun de ces nerfs dans le rôle que nous examinons ? C'est ici le lieu de mentionner une intéressante expérience de Waller (1) : après l'arrachement de l'un des deux nerfs spinaux, pratiqué depuis *environ une semaine* (*), ce physiologiste a galvanisé le tronc correspondant du pneumogastrique, et n'a plus vu survenir l'arrêt et le relâchement du cœur; au contraire ces effets ont eu lieu en galvanisant, au cou, l'autre pneumogastrique resté en connexion avec le spinal. Déjà Schiff (2) avait reconnu que la galvanisation du pneumogastrique d'*un seul côté* suffisait pour suspendre les battements cardiaques, pourvu que le courant d'induction fût assez puissant. — Ainsi, d'après Waller, ce sont les nerfs accessoires de Willis (branches internes), et non les pneumogastriques proprement dits, qu'on doit considérer comme appelés à transmettre la précédente influence de la moelle allongée au cœur.

Il nous reste une tâche difficile à remplir, c'est de formuler une théorie des rapports fonctionnels qui existent incontestablement entre le cœur et le système nerveux, en commençant par la moelle allongée.

Des explications diverses ont été proposées. — Admettre, avec Budge (3), les frères Weber (4) et Ed. Pflüger (5), des nerfs dont l'excitation ferait *cesser* le mouvement des parties contractiles auxquelles ils se rendent, ne parut guère possible. Il sembla donc plus rationnel de croire que de pareils résultats s'expliquent par un épuisement nerveux momentané, dû au passage d'un courant énergique : en effet, chez un animal récemment tué, une galvanisation assez faible de la moelle allongée, ou bien des nerfs vagues, au cou, peut parfois activer les contractions cardiaques, comme s'il s'agissait de tout autre nerf en rapport avec

(1) *Expériences sur les nerfs pneumogastrique et accessoire de Willis* (*Gaz. méd. de Paris*, 1856, p. 420).

(*) Dans mon mémoire intitulé : *Recherch. expérim. sur les conditions nécessaires à l'entretien et à la manifestation de l'irritabilité musculaire* (*Examinateur médical*, 1841), j'ai démontré que tout nerf moteur, séparé de l'axe cérébro-spinal, cesse d'être excitable *après le quatrième jour*. Cela explique pourquoi WALLER a dû attendre que ce laps de temps fût écoulé, avant de tenter toute expérience galvanique ultérieure sur le tronc mixte du pneumogastrique.

(2) *Archiv für physiol. Heilkunde*, 1849, t. VIII, p. 179.

(3) *Ouvr. cit.*

(4) *Ouvr. cit.*

(5) *Dissert. inaug. de nervorum splanchnicorum in intestinum actione.* Berlin, 1856. — *Ueber das Hemmungs Nervensystem*, 1857.

un organe contractile quelconque. La *théorie de l'épuisement nerveux* fut défendue par Schiff (1), Spiegelberg (2) et G. Valentin (3) : nous crûmes d'abord devoir l'adopter nous-même. Elle fut également admise, avec des restrictions, par Jos. Lister (4). Mais, d'après ce qui précède, on sait déjà, d'une part, qu'avec une galvanisation intense et prolongée des pneumogastriques, les battements cardiaques, d'abord suspendus, reparaissent bientôt *pendant le passage même du courant;* d'autre part, nous ajouterons que, si l'on cesse la galvanisation alors que le cœur est dans le relâchement, les battements de cet organe se montrent de nouveau avec une rapidité qui exclut toute idée d'un épuisement suivi de la réparation des forces. Dans l'hypothèse que nous examinons, ils devraient être plus lents à se rétablir.

Admettant, avec la plupart des anatomistes du siècle dernier, que les pneumogastriques sont surtout les nerfs vasculaires du cœur, Brown-Séquard (5) s'explique de la manière suivante les résultats des expériences de Budge, Ed. et E.-H. Weber : « Quand ces nerfs, dit-il, sont galvanisés, ils produisent la contraction des vaisseaux du cœur; et, comme les battements du cœur dépendent des excitations qu'il reçoit du *sang* contenu dans ces vaisseaux, il est évident qu'il doit alors cesser de battre. » Mais, si l'état de relâchement du cœur, qui résulte de la galvanisation de la moelle allongée ou des pneumogastriques, était dû à une pareille cause, le tissu musculaire de cet organe devrait paraître presque exsangue pendant qu'il est ainsi relâché : or, la simple inspection, ou mieux une incision faite à ce tissu prouve qu'il est loin d'en être ainsi. D'ailleurs, il est difficile de croire qu'un état de contraction spasmodique des vaisseaux capillaires du cœur puisse déterminer un arrêt aussi brusque, aussi instantané des mouvements cardiaques, quand on voit ceux-ci ne s'éteindre que d'une manière progressive et assez lente après la ligature des vaisseaux coronaires (*), ou même continuer des heures entières, dans certaines espèces animales, sans le concours d'aucune circulation intra-cardiaque.

Dans notre opinion, les fibres contractiles du cœur reçoivent deux influences de signes contraires : l'une *excito-motrice* ou *positive*, qui fait contracter le cœur et émane plus spécialement de la moelle épinière aidée du grand sympathique; l'autre *antagoniste* ou *négative*, qui a pour effet de déterminer le relâchement de cet organe, et qui provient de la moelle allongée aidée des troncs mixtes des pneumogastriques. — Pourquoi cette double influence? Comment se traduit-elle dans l'état physiologique et aussi dans le cas d'excitations anormales?

Nous connaissons déjà les expériences de Volkmann, Bidder, Ludwig et Heidenheim, tendantes à démontrer que les mouvements rhythmiques du cœur sont entretenus surtout par le système nerveux. Cependant il est certain que l'arrivée du sang dans les *cavités cardiaques*, par le choc, l'ébranlement et aussi par la distension

(1) *Lehrbuch der Physiologie*. Lahr, 1858, p. 189.

(2) HENLE und PFEUFER, *Zeitschrift für ration. Medizin*, 1857.

(3) MEISSNER und HENLE, *Jahresbericht*, etc., 1858.

(4) *Preliminary Account of an Inquiry into the Functions of the Visceral Nerves, with Special Reference to the so called* « Inhibitory System »; *in a Letter to* Dr SHARPEY. August 13, 1858.

(5) *Gaz. méd. de Paris*, 1853, p. 429. — *Ibid.*, 1854, p. 136.

(*) Voir les expériences de ERICHSEN et de SCHIFF, citées plus haut (p. 768), sur les effets de la ligature des vaisseaux coronaires du cœur.

fibrillaire qui en résultent, excite le cœur à se contracter (*). Si cette distension ou ce tiraillement d'un tissu contractile devient en effet, pour lui, une cause qui l'invite à réagir, il est à noter qu'*à force de se répéter*, une stimulation de cette nature, quelque légère qu'on la suppose, finirait par amener une surexcitation assez grande pour déterminer une contraction permanente ou état tétanique du cœur. Il faut donc, afin d'empêcher cette conséquence nécessaire de stimulations incessantes et additionnées les unes aux autres, que le cœur reçoive du système nerveux ou du sang une influence qui fasse succéder *instantanément* un relâchement absolu de ses fibres à chacune de leur contraction; de manière qu'en définitive cet organe musculaire, comme tous les autres muscles, ait le temps de se reposer. Or, c'est ce qui arrive; et c'est spécialement le système nerveux (la moelle allongée notamment avec le concours des troncs mixtes des pneumogastriques) qui assure le repos du cœur après chaque révolution complète, et qui ainsi en gouverne les mouvements rhythmiques.

Dans l'état normal, les deux précédentes influences, *excito-motrice et antagoniste*, se contre-balancent d'une manière alternative. Mais si cette dernière est accrue en intensité et en durée, par la galvanisation de la moelle allongée ou des pneumogastriques, elle prend momentanément le dessus, et aussitôt le *cœur s'arrête :* cet arrêt dure jusqu'à ce que, après avoir été épuisée par un courant intense et prolongé, elle laisse l'influence excito-motrice venue d'ailleurs prendre le dessus à son tour; aussi voit-on alors le cœur se remettre à battre *pendant le passage même du courant*. Rappelons que, en opérant sur la moelle cervicale ou sur les nerfs cardiaques du grand sympathique d'un animal décapité, on ne parvient jamais à arrêter le cœur, à le mettre dans le *relâchement*, quelle que soit l'intensité du courant galvanique; qu'au contraire on entretient et l'on active ainsi les mouvements de cet organe. Une pareille opposition dans les résultats est assurément bien digne d'intérêt.

L'occasion s'offre à nous de faire ici un rapprochement. Comment ne pas remarquer que des actions nerveuses analogues aux précédentes se retrouvent pour d'autres organes contractiles, qui, comme le cœur, sont pourvus de fibres musculaires exclusivement propres à les resserrer, mais non à les dilater d'une manière active? Ainsi, par exemple, la galvanisation du bout périphérique de la *corde du tympan* liée ou divisée met les vaisseaux de la glande sous-maxillaire dans l'état de relâchement ou de dilatation paralytique, tandis que, si l'on galvanise les filets nerveux du grand sympathique qui se rendent à cette glande, les mêmes vaisseaux se resserrent et cessent bientôt d'être perméables au sang (1). Tout nous porte donc à croire qu'en effet deux influences nerveuses différentes sont transmises aussi bien aux parois contractiles des divisions vasculaires en général qu'au cœur lui-même, influences excito-motrice et antagoniste desquelles résulte la contraction ou le relâchement forcé de ces parties. On connaît aussi les intéressantes expériences de Pflüger (2), qui a démontré qu'en faisant passer le courant intense

(*) Nous avons examiné précédemment le rôle du *sang artériel* dans l'entretien de la contractilité propre du cœur. Ce n'est plus d'un pareil rôle qu'il s'agit ici, mais d'un effet mécanique dû à l'abord du sang dans les cavités mêmes de cet organe.

(1) Cl. Bernard, *Sur les variations de couleur dans le sang veineux des organes glandulaires, suivant leur état de fonction ou de repos* (*Journal de physiol. de l'homme et des animaux*, t. I, p. 241).

(2) *Mém. et Rec. cit.*

d'un appareil d'induction dans les grands nerfs splanchniques, on peut *faire cesser* les mouvements et les contractions de l'intestin grêle, etc.

Pour se rendre compte de l'*accélération des battements du cœur* après la section des nerfs pneumogastriques, accélération admise par la plupart des expérimentateurs et nous-même, mais niée comme constante seulement par quelques-uns (*), doit-on invoquer la suppression de l'antagonisme existant, à l'état normal, entre les deux modes d'action nerveuse que nous avons essayé de caractériser ? En d'autres termes, cette accélération résulte-t-elle de l'impossibilité où se trouverait dès lors la moelle allongée d'exercer son influence modératrice ou antagoniste sur les contractions cardiaques, persistantes par suite de l'influence excito-motrice émanée de la moelle et du grand sympathique ? Si les battements du cœur peuvent en effet s'accélérer par une pareille cause, nous ne croyons pas que cette cause soit la seule, ni surtout qu'elle soit la principale. — Voici comment, suivant nous, la section des pneumogastriques détermine l'*accélération* des contractions cardiaques en même temps que leur *affaiblissement* (**). Les troncs mixtes de ces nerfs contiennent la plupart des rameaux *vaso-moteurs* qui président à la contractilité des vaisseaux innombrables du poumon ; aussi, quand on a divisé ces troncs nerveux, au cou, les plus fines divisions des vaisseaux pulmonaires, une fois paralysées, se laissent-elles distendre par le sang, d'où résulte un passage plus facile de ce fluide des artères dans les veines. Or, à cause même de cet élargissement des voies circulatoires du poumon et de la facilité plus grande du cours du sang à l'intérieur de cet organe, on voit, d'une part, le cœur déployer moins de force, et d'autre part battre aussi plus vite, puisqu'il doit, dans un temps donné, envoyer d'autant plus de sang au poumon que celui-ci se laisse mieux traverser par ce fluide et en est plus tôt débarrassé. Au contraire, comme le démontre si bien le sphygmographe de Marey, le cœur se ralentit et redouble d'effort dans tous les cas où l'on augmente la tension artérielle, soit en faisant contracter le système capillaire général par le froid, soit en comprimant des troncs artériels de gros calibre (***). — Mais, comme conséquence du défaut d'innervation vasculaire, par les pneumogastriques, surviennent bientôt des exhalations séreuses, soit à l'intérieur des bronches paralysées qui ne peuvent plus les expulser, soit dans l'épaisseur même du parenchyme pulmonaire dont les vaisseaux se trouvent alors mécaniquement comprimés; de là résultent une gêne et un retard circulatoires qui peuvent donner lieu à la formation de caillots intra-vasculaires et à un engouement considérable des poumons. A la vérité, le cœur bat vite encore, dans cette période de l'expérience, mais ce ne sont plus que les mouvements tremblotants, inégaux et débiles qu'on observe toujours comme signes précurseurs de la mort.

A nos yeux, la moelle allongée est donc loin de remplir, par rapport aux mouvements du cœur, un rôle aussi secondaire que le supposent quelques physiolo-

(*) Tels sont LUDWIG et HOFFA (*Zeitschrift für ration. Med.*, 1850, t. IX, p. 140), et plus récemment encore JOS. LISTER (*Mém. cit.*).

(**) CL. BERNARD (*Comptes rendus des séances de la Société de biologie*, t. 1, p. 13, année 1849) a démontré qu'après qu'on a coupé les pneumogastriques, « la force contractile du cœur est altérée au point de ne plus faire monter le cardiomètre que de quelques millimètres, tandis qu'à l'état normal chaque contraction lui communique un mouvement ascensionnel de 15 à 18 millimètres. »

(***) Ce point sera traité avec plus de détails à propos de la fréquence des battements du cœur.

gistes. Parce que, malgré l'ablation de ce centre nerveux et avec des températures déterminées, des batraciens ont vécu plusieurs mois (1), ou que des fœtus anencéphales, complétement dépourvus de *moelle allongée*, ont continué à offrir des *mouvements cardiaques réguliers* pendant une longue période de leur vie intra-utérine (*), est-on en droit de conclure qu'elle est étrangère à ces sortes de mouvements chez les animaux plus élevés, ou qu'elle n'y concourt en rien chez les individus normalement conformés, et surtout après l'époque fœtale? Mais des batraciens, auxquels on a excisé ou lié les poumons à leur racine, survivent aussi fort longtemps à cette mutilation, et aucun expérimentateur n'en a inféré que les poumons fussent étrangers aux phénomènes essentiels de la respiration. C'est ici le lieu de rappeler que le maintien de la vie se montre d'autant moins dépendant de l'*intégrité* de la circulation et de la respiration que l'organisation des animaux est plus inférieure, que leur température et les combustions de nutrition sont moins développées. En effet, après qu'on a supprimé les poumons d'une grenouille ou d'une salamandre, la respiration est loin d'être aussi complète qu'auparavant, et néanmoins elle persiste avec son échange gazeux et la vie avec elle; de même, après qu'on a excisé la moelle allongée de ces animaux, la circulation peut être moins parfaite et pourtant continuer de manière à entretenir la vie. Chacun sait bien qu'il n'en serait point ainsi chez des mammifères ou des oiseaux adultes. Or, on se borne à conclure, dans le premier cas, que le poumon, organe principal de la respiration, a été suppléé par la peau, autre surface respiratoire : c'est une conclusion analogue qu'il eût fallu tirer, dans le second cas, c'est-à-dire que la moelle allongée, principal centre qui régit le rhythme du cœur, peut être remplacée dans certaines limites par d'autres centres nerveux auxiliaires. Tout concourt, en effet, à prouver qu'au cœur surtout s'applique ce principe que nous avons déjà formulé ailleurs, à savoir : que les moyens d'innervation propres à entretenir le jeu d'un organe se multiplient en raison de l'importance physiologique de cet organe. C'est pour avoir méconnu ce principe, avons-nous dit, que généralement on a voulu trop localiser l'origine de l'influence nerveuse destinée au cœur.

Pour ce qui concerne l'influence du système nerveux sur les mouvements du cœur, nous nous résumerons dans les propositions suivantes :

— Il serait inexact de soutenir aujourd'hui, avec l'école de Haller, que le cœur se trouve dans une indépendance absolue à l'égard du système nerveux : l'action nerveuse est indispensable à la production et à la succession des mouvements rhythmiques de cet organe.

— Les nerfs, dont le tissu du cœur est pénétré et qui puisent leur force dans le centre cérébro-spinal et ganglionnaire, sont nécessaires à la nutrition, à la vie de ce tissu, et partant, à sa contractilité.

— Si un cœur, séparé de l'organisme, continue de battre pendant quelque temps (temps variable suivant l'espèce animale), c'est qu'il recèle en lui-même des éléments nerveux dont l'action n'est pas épuisée et qui opèrent leur décharge, d'une manière intermittente, sur la fibre musculaire cardiaque. Il existe, notamment

(1) BROWN-SÉQUARD, *Comptes rendus de la Soc. de biologie*, octobre 1849, t. I, p. 158; t. III, p. 73; et *Journal de physiologie*, 1858, t. I, p. 222.

(*) Voir ci-dessus, p. 779, pour l'indication des faits de ce genre.

dans l'épaisseur de la cloison interauriculaire, de petits ganglions dont la curieuse influence nous est connue.

— Le cœur reçoit de points multiples des centres cérébro-spinal et ganglionnaire des influences diverses, dont les unes ont pour but spécial d'*exciter* les contractions de cet organe, et les autres de les *suspendre* à des intervalles réguliers.

— L'erreur du plus grand nombre des physiologistes a consisté surtout à vouloir trop localiser et spécifier un principe d'action dont l'origine et le mode d'influence sont certainement multiples. — Ce n'est *exclusivement* ni du cerveau (Piccolomini, etc.), ou du cervelet (Willis), ni de la moelle allongée (Budge et Schiff), ou de la moelle épinière (Legallois), ni enfin des ganglions sympathiques seuls (Prochaska), que dérive l'action du système nerveux sur le cœur : toutes ces parties centrales ont une influence plus ou moins prochaine et nécessaire sur les mouvements de cet organe suivant l'espèce et suivant l'âge de l'animal. — Elles peuvent d'autant mieux se suppléer les unes les autres, que le vertébré appartient à une classe plus inférieure, ce qui explique une circulation plus ou moins durable et régulière, après la destruction d'un ou de plusieurs de ces centres nerveux.

—La moelle épinière, aidée du grand sympathique, est la source principale, mais non exclusive, de l'action *excito-motrice* ou positive qui fait contracter le cœur ; la moelle allongée, aidée des troncs mixtes des pneumogastriques, est la source principale, mais non exclusive, de l'*action antagoniste* ou négative qui a pour effet de contribuer au rhythme du cœur en mettant cet organe dans le relâchement après chaque révolution complète.

Action des différentes cavités du cœur.

I. *Des oreillettes.* — En examinant chaque moitié du cœur, il est facile de reconnaître que l'oreillette, à cause de la minceur de ses parois et de la faiblesse de ses bandelettes musculeuses, ne saurait être la partie importante de cet organe. L'anatomie comparée autorise à la considérer comme une sorte d'ampoule terminale du système veineux ; le cœur véritable est essentiellement constitué par le ventricule. — En mettant à nu le cœur d'un assez grand mammifère, chez lequel on entretient la respiration artificielle, on constate que l'action de l'oreillette est très faible, si on la compare à celle du ventricule : un manomètre introduit dans la cavité auriculaire, au moment où elle se contracte, accuse une pression cinq à six fois moindre que celle qu'on obtient avec la cavité ventriculaire correspondante, prise dans les mêmes conditions. Les parties terminales du système veineux (veines caves supérieure et inférieure) possèdent aussi une contraction active : G. Valentin (1) les a vues se mouvoir d'une manière rhythmique avec les oreillettes, et il a pu provoquer leur mouvement par la galvanisation de certains rameaux du plexus cardiaque.

Du reste, ce qui tend bien à prouver que, dans le mécanisme du cœur, l'action de l'oreillette est seulement accessoire, c'est que cette cavité est si mal close du côté des veines, qu'elle ne saurait empêcher le sang d'y refluer, et qu'il faut remonter, pour la veine cave supérieure par exemple, jusqu'au confluent de la jugulaire et de la sous-clavière pour trouver des valvules qui s'opposent au reflux. Si on

(1) *De functionibus nervorum cerebralium et nervi sympathici.* Berne, 1839.

lui compare le ventricule, qui devait avoir une action propulsive efficace, on constate la disposition inverse, non-seulement pour l'épaisseur de ses parois, qui est relativement considérable, mais aussi pour la parfaite occlusion de ses valvules, qui s'opposent à tout courant rétrograde. Enfin, comme autre preuve du rôle secondaire de l'oreillette, nous rappellerons que, chez les animaux dont on a ouvert la poitrine, il n'est pas rare de voir la portion auriculaire du cœur demeurer immobile, alors que la portion ventriculaire continue de battre, ne recevant du sang qu'en vertu de la tension veineuse, et lançant néanmoins dans les artères des ondées bien appréciables par les battements qui en résultent.

Quand l'oreillette se contracte, elle ne fait qu'achever la réplétion du ventricule dans lequel le sang a déjà coulé. Communiquant largement par l'orifice auriculo-ventriculaire avec l'oreillette, et par suite avec le système veineux, le ventricule doit avoir reçu en effet sa part du sang que les veines versent constamment dans les cavités auriculaires du cœur. La contraction de l'oreillette n'envoie donc au ventricule qu'une quantité complémentaire de sang. L'oreillette, en se resserrant, est d'ailleurs loin de se vider tout à fait, et le fluide qu'elle chasse de sa cavité semble même être moins abondant que celui qu'elle y conserve.

A propos de la *succession des mouvements du cœur*, nous verrons que la contraction du ventricule arrive souvent avant la fin de celle de l'oreillette, et que par conséquent toute cette partie de l'action de l'oreillette, qui coïncide avec la systole du ventricule, est perdue pour la propulsion du sang : les valvules auriculo-ventriculaires sont alors relevées et closes hermétiquement par une force énergique, que ne saurait vaincre celle de l'oreillette.

En définitive, l'action de l'oreillette paraît se borner à la propulsion d'*une quantité assez faible* de sang, dont l'estimation exacte n'a pu être donnée jusqu'à présent.

II. *Des ventricules.* — Ils représentent les parties réellement actives dans la circulation cardiaque. L'énergie des contractions propres aux deux ventricules se révèle déjà à la fois par l'épaisseur de leurs parois musculeuses dont les fibres s'insèrent sur des anneaux fibreux, véritable squelette du cœur, et par la résistance de leurs appareils valvulaires. La preuve directe de cette énergie d'action s'obtient à l'aide d'expériences manométriques.

Comme chacun des ventricules doit, par sa contraction, presser également et en tous sens le liquide qu'il renferme, la direction de ses fibres devait lui donner en tous sens aussi une égale force : à cet effet, existent et des fibres circulaires, et des fibres obliquement descendantes de la base du cœur à la pointe, d'où elles se réfléchissent pour remonter de nouveau. C'est grâce à cette disposition que le cœur, en se contractant, se rétrécit suivant tous ses diamètres, qu'il diminue en longueur comme en circonférence.

Au moment de la systole ventriculaire, le sang, pressé également, sauf au niveau des orifices auriculo-ventriculaires et artériels, tend à s'échapper par chacun d'eux; mais, en vertu de la disposition même des valvules, les orifices auriculo-ventriculaires se ferment, et les deux orifices artériels seuls se laissent traverser par le sang, pourvu toutefois que la force ventriculaire soit assez grande pour lutter contre la pression qu'exerce sur les valvules sigmoïdes la tension du sang artériel.

Comment agissent les valvules auriculo-ventriculaires gauche et droite, ou

mitrale et *tricuspide?* Si l'on s'accorde pour admettre que le jeu de ces deux valvules doit être le même, et que, dans le cœur droit, la valvule tricuspide se comporte comme la valvule mitrale dans le cœur gauche, on diffère d'avis sur leur mode commun d'occlusion.

Parchappe (1), considérant l'aspect de ces replis valvulaires, les dentelures de leurs bords et l'intrication des cordages tendineux qui s'y attachent, supposa que, lors de la contraction ventriculaire, il se fait une sorte d'engrènement de ces parties les unes dans les autres, et que leur ensemble forme alors un *infundibulum* à sommet aigu dirigé du côté du ventricule, et à parois tendues par la contraction des colonnes charnues qui s'insèrent au bord libre des membranes valvulaires. — Suivant l'opinion ancienne, ces membranes, tout en s'adossant l'une à l'autre par l'effort du sang que poussent les ventricules contractés, sont refoulées en haut et font saillie dans la cavité de chaque oreillette, tandis que les colonnes tendineuses qui les retiennent s'opposent à leur retournement complet.

Chauveau et Faivre (2), dans leur remarquable travail sur les mouvements du cœur, ont été amenés par leurs expériences à adopter cette dernière manière de voir. Les faits qu'ils rapportent à son appui ne laissent pas de doute sur la réalité de ce second mode d'occlusion. « Si, disent-ils, sur un animal vivant (cheval), on introduit le doigt dans une oreillette, la droite par exemple, et si l'on explore l'orifice auriculo-ventriculaire, on sentira, au moment même où les ventricules entrent en contraction, les valvules triglochines ou tricuspides se redresser, s'affronter par leurs bords, et se tendre de manière à devenir convexes par en haut et à former un *dôme* multiconcave au-dessus de la cavité ventriculaire. » Ces expérimentateurs admettent, néanmoins, avec Parchappe, un rétrécissement de l'orifice auriculo-ventriculaire lui-même ; mais ce rétrécissement n'agit, pour l'occlusion de la valvule, qu'en permettant un affrontement plus parfait de ses bords inférieurs.

De ce fait bien constaté, le soulèvement des valvules mitrale et tricuspide vers l'oreillette, Chauveau et Faivre concluent que chacun des ventricules doit se vider incomplétement à chaque contraction, et que, sous cette sorte de dôme ou de cavité conique, il reste toujours une certaine quantité de sang qui ne peut être chassée lors de la systole ventriculaire. L'effet de la systole du ventricule est néanmoins bien plus complet que celui de la systole de l'oreillette : sauf la quantité de sang qui demeure sous le dôme valvulaire, et celle qui inévitablement se loge dans les interstices des colonnes charnues imparfaitement accolées les unes aux autres, comme dans les mailles d'un tissu spongieux, il est vraisemblable que, chez un sujet sain et dans l'état régulier de la circulation, chaque ventricule se vide tout à fait.

Force des ventricules. — Le premier physiologiste qui chercha à évaluer la force ventriculaire du cœur, fut Borelli (3). Le moyen imaginé par l'illustre fondateur de l'école iatro-mathématique, avait plus d'ingéniosité que de rigueur. Borelli part de ce principe, que l'élément musculaire contractile est une sorte de petit rhomboïde dont l'axe s'allonge et se raccourcit alternativement; qu'il a, dans

(1) *Du cœur, de sa structure et de ses mouvements, etc.* Paris, 1848.
(2) *Nouvelles recherches expérimentales sur les mouvements et les bruits normaux du cœur, etc.* (*Gaz. méd. de Paris*, 1856, p. 410).
(3) *De motu animalium*, 1743, pars II, p. 84.

toute l'économie animale, la même force de contraction, et que, par conséquent, un muscle quelconque a une force proportionnelle au nombre de ses éléments musculaires, c'est-à-dire à son volume. Mesurant la force qu'un muscle (le deltoïde, par exemple) peut déployer en soulevant un poids placé au bout du bras, Borelli transporte les résultats ainsi obtenus à l'évaluation de la force du cœur, dont il compare la masse musculaire à celle du deltoïde, et il arrive au chiffre énorme de 180 000 livres pour l'effort systolique du ventricule gauche. Puis, considérant que le moment d'action des fibres du cœur est très défavorable, il réduit à 3000 livres la force utile, c'est-à-dire celle avec laquelle le sang est poussé à chaque battement. Il est à peine nécessaire de dire que même ce dernier chiffre est énormément exagéré : Borelli y avait été conduit par une appréciation entachée d'erreurs et basée sur des suppositions entièrement arbitraires. — Nous n'avons mentionné ces résultats que pour faire comprendre la difficulté du problème devant lequel a échoué un des plus grands observateurs du XVIIe siècle, et pour faire ressortir le mérite de celui qui introduisit dans la science une méthode expérimentale bien préférable et encore usitée de nos jours.

Hales (1) eut l'idée d'appliquer le *manomètre* à l'évaluation de la force du cœur. Les deux propositions fondamentales qu'il établit tout d'abord furent celles-ci :

1° La pression du sang dans l'aorte peut se mesurer par la hauteur à laquelle le liquide s'élève dans un tube manométrique adapté à ce même vaisseau ;

2° La force du cœur peut s'évaluer en multipliant la pression aortique par la surface interne du ventricule gauche.

D'après ces données, Hales avança que la tension aortique fait équilibre à une colonne de sang qui, chez l'homme, aurait probablement 7 pieds 6 pouces, et que la même pression multipliée par la surface intérieure du ventricule (c'est-à-dire le poids que le ventricule aurait à soulever au début de sa contraction) serait d'environ 51 livres. — Le même auteur s'assura, à l'aide de nombreuses expériences, qu'en diminuant par la saignée la masse du sang d'un animal, on fait baisser graduellement la tension aortique, et, partant, la résistance que le cœur éprouve. Cette évaluation de la force du cœur par Hales donne la force *statique* de cet organe, abstraction faite de la durée d'application de la contraction ventriculaire. D'autres auteurs essayèrent d'en donner une expression *dynamique*. — J. Keill (2) avait cherché, avant Hales, à mesurer cette force d'après la vitesse du sang dans les artères : il était arrivé à l'évaluer à 5 onces, en considérant la durée de la systole ventriculaire comme égale à la moitié de celle de la diastole. — Daniel Bernouilli, dans la thèse inaugurale d'un de ses élèves, Passavant (3), établit une évaluation basée sur les expériences de Hales : il admet que chaque contraction du cœur dure une seconde (chiffre environ trois fois plus considérable que celui que Keill admettait), et arrive à cette conclusion, que la force dynamique du cœur est égale à 1 once 1/2.

Les expériences manométriques, furent peu répandues tant qu'il fallut adapter aux vaisseaux d'un animal d'une assez haute stature un tube de 10 à 12 pieds de longueur ; aussi Poiseuille rendit-il un véritable service en introduisant l'usage d'un manomètre à mercure, instrument beaucoup plus portatif. Dans ses mesures, Poiseuille négligea la seconde proposition de Hales, et évalua la force du cœur en

(1) *Hæmastatique*, trad. par Sauvages. Genève, 1744, in-4.
(2) *Tentamina medico-physica, quibus accessit medicina statica Britannica*. Londres, 1718.
(3) *De vi cordis*, etc. Bâle, 1748.

multipliant la hauteur manométrique, non plus par la surface intérieure du ventricule, mais par l'aire de l'orifice aortique. La force *statique*, obtenue dans ces conditions, n'exprime plus la force totale déployée par le cœur, mais seulement la quantité de mouvement qui s'exerce à travers l'orifice aortique, et qui est réellement utile à la propulsion du sang; il la trouve égale à $1^{kil},971$. Poiseuille supposait, en outre, que la pression moyenne dans les artères est partout la même: nous reviendrons plus tard sur cette supposition, reconnue inadmissible par d'autres expérimentateurs.

Si l'on passe en revue les résultats si divergents obtenus jusqu'ici dans les recherches de la force absolue du cœur et de sa représentation numérique, on voit que la solution définitive du problème est encore très éloignée : bien des éléments manquent en effet pour évaluer la force de cet organe. Dans la circulation sanguine, comme dans toutes les autres fonctions, les évaluations numériques et les valeurs absolues des forces sont d'autant moins saisissables que ces forces varient non-seulement d'un sujet à un autre, mais aussi d'une époque de la vie à une autre pour chacun.

Il est permis de blâmer la comparaison faite par Borelli entre la force de chaque élément musculaire du deltoïde et celle des éléments musculaires appartenant au cœur, puisque le cœur et le deltoïde ne sont pas des muscles de même ordre. Mais, un cœur étant donné, il est parfaitement légitime d'évaluer sa force d'après son développement musculaire, c'est-à-dire d'après l'épaisseur de ses parois. L'observation, au sujet de l'hypertrophie physiologique du tissu musculaire, nous apprend que, dans tous les cas où l'effort qu'un muscle doit accomplir est augmenté, ce muscle croît en volume et acquiert une force plus grande. Or, des faits nombreux d'anatomie pathologique sont venus démontrer que cette remarque s'applique également au cœur, et que les parois d'une de ses cavités, quelle qu'elle soit, acquièrent une grande épaisseur si cette cavité éprouve, pour se vider, une résistance inaccoutumée. Ces différences anatomiques permettent donc de conclure que le cœur gauche, dont les parois sont généralement les plus épaisses, a plus de force que le cœur droit, et que, sur des sujets différents, la moitié cardiaque dont les parois ventriculaires offrent le plus d'épaisseur devait avoir, durant la vie, une force systolique plus grande que l'autre moitié. Mais ce sont là des évaluations purement relatives, et desquelles on ne saurait, dans aucun cas, déduire la valeur numérique de la force du cœur.

III. *Causes de la dilatation des cavités du cœur.* -- La plupart des physiologistes ont l'habitude de comparer le cœur, au point de vue de son mécanisme, à une pompe foulante; quelques-uns croient néanmoins devoir l'assimiler à une pompe à la fois aspirante et foulante, c'est-à-dire qu'ils admettent que le cœur se remplit par un effort de dilatation qui appelle le sang dans ses cavités.

Cet appel du sang, bien moins énergique que l'effort systolique, a été expliqué de diverses manières : pour les uns, il résulte de l'*élasticité* même des parois cardiaques, qui, resserrées pendant la systole, tendent à revenir à un état moyen, semblables en cela à ces ventouses de caoutchouc que l'on presse entre les doigts, et qui, relâchées ensuite, font le vide au-dessous d'elles en reprenant leur forme; pour d'autres, le principal rôle aspirateur est produit par la tendance au vide que produit dans le thorax la rétractilité du poumon.

L'élasticité musculaire peut-elle ramener le cœur, après la systole, à une capacité plus grande? Lorsqu'on coupe transversalement le cœur d'un cadavre, on voit que la cavité du ventricule n'est pas effacée complétement, et que, si l'on comprime cette cavité, elle reprend son diamètre après qu'on a cessé la compression. D'après Beau (1), cette réaction des parois ventriculaires n'existerait pas pendant la vie; elle ne serait, pour le cœur mort, qu'un effet de la rigidité cadavérique. Des expériences, instituées par Johnson (2), Chassaignac (3) et Fink (4), ont conduit leurs auteurs à la conclusion inverse: ils ont pu voir le cœur, au moment même où l'on vient de l'arracher de la poitrine d'un animal, aspirer par ses diastoles l'eau d'un vase dans lequel on le plaçait, et l'expulser par ses systoles tant que sa contractilité n'était pas éteinte. Dans l'instant où le cœur venait de cesser ses contractions, Fink a remplacé la systole par une pression de l'organe entre les mains, et il a constaté que, sous l'eau, la réplétion diastolique continuait toujours. On conçoit, du reste, que la réplétion du cœur se fasse, à l'état normal, avec une grande facilité, par suite du peu de résistance que le sang éprouve à l'abord de cet organe; mais il n'y a pas moins lieu d'admettre une *action aspiratrice* due à l'élasticité des parois cardiaques, et surtout secondée par une action analogue des poumons.

Nous avons vu, à propos de la respiration, que la force rétractile des poumons tend à former, dans la poitrine, un vide qui se traduit par l'accélération du sang veineux au voisinage de cette cavité. Comme le cœur se trouve précisément au milieu de ce vide virtuel, il doit être évidemment, de même que les veines du cou, le siége d'une aspiration du sang. Mais cette force d'appel n'a d'effet que sur le cœur droit; elle n'en a pas sur le cœur gauche, attendu que les veines pulmonaires qui s'y vident sont soumises à la même diminution de pression que l'oreillette gauche où elles aboutissent. Ajoutons que l'abaissement de la pression atmosphérique, dans le thorax, varie suivant un grand nombre de circonstances, et que le vide virtuel qui en résulte est plus grand pendant l'inspiration que pendant l'expiration, et surtout l'effort.

En somme, les deux forces aspiratrices, dérivées l'une de l'élasticité des parois cardiaques, et l'autre de la rétractilité pulmonaire, ne jouent dans la *diastole du cœur* qu'un rôle accessoire: la seconde, par exemple, peut être entièrement supprimée par l'ouverture du thorax sans que le cœur cesse de fonctionner, si l'on a soin de pratiquer la respiration artificielle.

A propos de la circulation veineuse, nous dirons bientôt quelle est la force qui préside au cours centripète du sang, et quel rôle cette force, qui provient de sources multiples, joue dans la réplétion du cœur.

Quant aux *causes de la contraction des cavités du cœur*, elles ont été déjà étudiées précédemment (p. 768 et suiv.).

(1) *Traité expérimental et clinique d'auscultation*, 1856, p. 254.

(2) *Some Observations Relating to the Power of Circulation* (*Trans. of the Medico-Chir. Soc.*, 1823, t. XII, p. 191).

(3) Voy. HÉRARD, *Des signes stéthoscopiques du rétrécissement de l'orifice auriculo-ventriculaire* (*Arch. gén. de méd.*, 1854, t. III, p. 191).

(4) *Bemerkungen über einige Versuche zur Erläuterung der Mechanik des Herzens* (MÜLLER'S *Arch. fur Anat. und Physiol.*, 1849, p. 283).

Signes extérieurs des mouvements du cœur.

Lorsqu'on applique l'oreille sur la poitrine d'un individu sain, on entend *deux bruits* à la région précordiale. Ces deux bruits se reproduisent à chaque révolution du cœur, comme on peut s'en assurer en tâtant à la fois le pouls artériel et en auscultant cet organe. Pendant que l'oreille perçoit le premier bruit (le plus fort, ou au moins le plus grave des deux), on sent un *choc* qui ébranle plus ou moins les parois thoraciques. Le second bruit, qui est plus clair et plus bref, ne s'accompagne d'aucun ébranlement de ces parois.

On a donné le nom de *premier bruit* à celui qui coïncide avec le *choc*, parce que, dans la succession des temps qui constituent une révolution cardiaque, c'est lui qui en effet se produit le premier. Si, faisant abstraction du choc, on écoute les deux bruits en un point du thorax assez distant du cœur, on peut encore, le plus souvent, distinguer le premier du second en comparant les intervalles qui les séparent l'un de l'autre : le temps qui s'écoule entre le premier et le *second bruit* est en général beaucoup plus court que celui qui sépare ce second bruit du premier appartenant à la révolution suivante du cœur. Mais il ne faut pas, dans la pratique médicale, attacher une trop grande importance à ces intervalles; car leur durée respective est extrêmement variable, et, en l'absence du choc, mieux vaudrait, pour distinguer les deux bruits, s'en rapporter aux différences de *timbre* qu'à la durée des intervalles.

Un grand nombre d'essais ont été faits pour représenter le rhythme des bruits du cœur par une notation musicale, et la diversité même des notations proposées indique qu'il n'existe pas un type unique pour le rhythme de cet organe. Tout au plus est-il permis de dire, avec Chauveau et Faivre (1), que, chez l'homme à l'état sain, les bruits du cœur pourraient se noter par une mesure à trois temps.

Les deux bruits peuvent aussi se distinguer par leur *différence de siége :* quoiqu'on puisse quelquefois les entendre de points assez éloignés de la région précordiale, on n'en doit pas moins poser, en règle générale, que le premier bruit (*bruit sourd*) a son maximum d'intensité au niveau de la pointe du cœur, c'est-à-dire un peu au-dessous et en dehors du mamelon gauche, vers le cinquième espace intercostal; tandis que le second (*bruit clair*) siége plus haut, au niveau de la troisième côte et près du bord gauche du sternum.

Tels sont les seuls signes qui, chez l'homme sain, révèlent l'existence des mouvements du cœur. Déjà reconnus par Harvey, ces signes ont été longtemps négligés comme un accessoire inutile de l'action du cœur. Mais, depuis Laennec, la sémiologie médicale s'en est emparée et a demandé à la physiologie l'explication de la production de ces bruits et de ceux qui surviennent anormalement dans les affections organiques du cœur. Aussi aurons-nous à faire plus loin l'examen des *bruits cardiaques.* Nous aurons également à revenir sur le *choc du cœur*, en parlant de la succession des mouvements propres à cet organe.

Succession des mouvements du cœur.

Depuis le moment où les exigences de la pathologie ont dirigé l'attention vers l'étude des *mouvements et des bruits du cœur*, on a vu se succéder une série de

(1) *Nouvelles recherches expérimentales sur les mouvements et les bruits du cœur* (*Gaz. méd. de Paris*, 1856, p. 409).

théories si diverses, d'opinions si contradictoires, qu'on s'arrêtait découragé en présence de pareilles dissidences, également incapable de se faire une conviction et de charger sa mémoire de cet inutile encombrement. Heureusement les progrès de l'expérimentation physiologique ont permis, dans ces derniers temps, de donner des démonstrations si nettes, qu'enfin la science semble fixée au moins sur les points les plus essentiels.

Nous exposerons tout d'abord la théorie qui résulte des expériences les plus concluantes à nos yeux, et nous reléguerons dans un simple aperçu historique les autres opinions qui ne paraissent pas s'accorder avec les faits rigoureusement observés.

G. Harvey a consigné, dans un de ses principaux écrits (1), la première observation attentivement faite des mouvements du cœur, observation d'autant plus curieuse qu'elle eut pour sujet un homme, le vicomte de Montgomery, dont le cœur avait été mis à nu par accident. Harvey constata d'abord que cet organe n'est pas sensible au toucher, et aussi qu'il se meut alternativement en arrière et en avant, l'*impulsion contre la paroi thoracique ayant lieu pendant la systole ventriculaire.*

Ce dernier point a pu être vérifié par d'autres observateurs sur des nouveau-nés atteints d'ectopie du cœur ; et comme nous venons de voir que le choc du cœur correspond au premier bruit, il est déjà bien acquis que la *contraction ventriculaire*, le *choc* et le *premier bruit sont synchrones*, ce qui nous suffira ultérieurement pour éliminer un assez grand nombre de théories.

Mais c'est surtout en ayant recours à des animaux, qu'on a cherché à éclairer la question de la succession des mouvements du cœur : si l'on est arrivé à découvrir la vérité, ce n'est qu'en passant par une série d'erreurs et d'illusions, produites le plus souvent par les troubles inséparables des vivisections en général. Ainsi, quand on ouvre le thorax d'un mammifère, la respiration s'arrête par suite de l'entrée de l'air dans la cavité pleurale et de l'affaissement des poumons, dû à leur élasticité ; alors le cœur ne présente plus que des battements désordonnés, et l'animal meurt asphyxié. Prend-on des oiseaux pour sujets d'expériences, la respiration, il est vrai, n'est plus immédiatement compromise par l'opération, mais la fréquence des battements du cœur est telle, que l'œil ne peut en suivre les détails; même chez les oiseaux très vieux, dont le cœur bat moins vite, l'étude de ses mouvements est encore à peu près impossible. Aussi la plupart des observateurs se sont-ils adressés surtout aux animaux inférieurs, qui supportent si bien les mutilations : des grenouilles, des crapauds, des salamandres, des anguilles, etc., ont servi à leurs expériences. Mais, en choisissant ces animaux, on s'est privé tout d'abord de détails dont l'étude est très importante : ici les bruits cardiaques n'étant pas perceptibles, il ne reste donc à observer que la succession des mouvements de diastole et de systole dans les portions auriculaire et ventriculaire du cœur, et rien ne prouve que, chez ces animaux, la durée relative de ces mouvements soit la même que chez les mammifères.

Un notable progrès dans l'expérimentation fut réalisé par les médecins des comités anglais (2). Les mouvements du cœur furent étudiés sur de grands animaux (veau, âne) dont on avait éteint la sensibilité en les empoisonnant par le *curare*. De plus,

(1) *Exercitationes de generatione animalium*, exercit. 51, p. 156. Londres, 1651.
(2) *Report of the British Associat.*, 1835, p. 241.

on pratiquait la respiration artificielle pour entretenir la vie, et dès lors l'ouverture du thorax n'amenait plus de désordres graves dans les mouvements du cœur.

En employant des procédés analogues, Chauveau et Faivre ont réussi à donner récemment les démonstrations les plus habilement conçues et les plus satisfaisantes d'une théorie qui, déjà émise, sauf quelques différences, par le comité des médecins anglais, manquait pourtant de preuves assez solides pour résister aux attaques dirigées contre elle. Ces deux physiologistes choisirent le cheval comme sujet d'expériences : la rareté des battements du cœur, chez cet animal (40 par minute), donne plus de temps pour l'étude de chacun, ce qui est déjà une circonstance favorable ; puis le volume de l'organe permet de localiser plus facilement les observations sur tel ou tel point, et même d'introduire le doigt dans les cavités pour surprendre le jeu des valvules, le frémissement des courants sanguins, le siége des bruits que l'expérimentateur modifie, arrête et fait reparaître à son gré.

Il fallait aussi se mettre à l'abri des deux influences qui compromettent le plus l'accomplissement régulier des battements du cœur dans les vivisections : la douleur et l'asphyxie. Ce but a été atteint à l'aide du procédé expérimental que Chauveau et Faivre ont mis en usage : la moelle épinière étant coupée entre l'atlas et l'axis, et la vie étant entretenue au moyen de la respiration artificielle, ils ont pu opérer sur le cheval dans les conditions de la plus complète insensibilité, et, grâce à l'insufflation pulmonaire, voir la circulation s'effectuer avec une grande régularité, sans que les cavités droites du cœur se soient aucunement engorgées. L'engorgement de ces cavités est au contraire inévitable, quand la circulation pulmonaire est entravée par l'affaissement du poumon, à la suite de l'ouverture du thorax sans respiration artificielle.

L'animal étant placé dans les conditions précédentes, on met le cœur à nu par la résection des côtes et l'excision du péricarde : dès lors on a sous les yeux des battements réguliers et offrant une fréquence assez peu considérable pour qu'on ait le temps de suivre la succession des mouvements. Il est d'ailleurs facile de constater le moment de la contraction de chaque ordre de cavités du cœur ; ce moment étant marqué par un changement de forme de la cavité qui devient plus globuleuse, par la formation de rides perpendiculaires à la direction des fibres musculaires, et surtout par un durcissement de la paroi sous le doigt qui la déprime.

a.— Instant de la contraction des différentes cavités du cœur. — On voit tout d'abord que les deux cœurs se contractent ensemble, et qu'ainsi la solidarité, que l'anatomie avait fait pressentir en montrant des fibres communes aux deux oreillettes comme aux deux ventricules, se retrouve dans le jeu de ces parties. Pour constater le fait, on n'a qu'à saisir entre ses doigts les deux appendices auriculaires en même temps, et l'on sent que tous deux ensemble se durcissent et se relâchent, le durcissement correspondant à la contraction. En saisissant de la même manière la partie ventriculaire, on sent aussi que les deux ventricules se durcissent et se relâchent simultanément. Ces premiers résultats de l'expérimentation ne sauraient laisser le moindre doute.

Il reste à savoir comment se succèdent les contractions de l'oreillette et celles du ventricule. Quand on saisit, d'une main, une oreillette et qu'on appuie l'autre main sur un ventricule, on constate nettement, si les battements du cœur ne sont pas

trop précipités, que l'*oreillette se contracte avec le durcissement du ventricule*, et qu'ainsi ce durcissement n'est pas dû à la plus grande réplétion du ventricule par la systole de l'oreillette ; s'il en était autrement, ces deux phénomènes seraient simultanés. On constate encore que, quand le ventricule durcit, il *se contracte*, comme l'attestent le relief plus accusé de ses fibres musculaires, le plissement du feuillet viscéral du péricarde perpendiculairement aux fibres du cœur, le changement de forme de la masse ventriculaire qui, affaissée sur le plancher diaphragmatique, se soulève en devenant globuleuse par l'effet de sa contraction. Enfin, les artères cardiaques, recevant le sang chassé par le ventricule, augmentent de volume et forment un relief très accusé. Si, pendant ce temps, le doigt explore le pouls sur l'aorte ou sur l'artère pulmonaire, on observe une parfaite simultanéité entre la pulsation et les phénomènes précédents qui accompagnent la systole ventriculaire.

Quelques auteurs ont décrit la contraction du cœur comme une sorte de mouvement vermiculaire, commençant à l'oreillette pour arriver au ventricule. Harvey avait comparé cette succession descendante de la contraction des fibres musculaires du cœur à celle qu'on observe dans les muscles du pharynx pendant la déglutition. Pour donner plus d'exactitude à cette comparaison, il faudrait ajouter qu'il existe un temps d'arrêt entre la contraction de l'oreillette et celle du ventricule. Ce léger intervalle n'est pas perceptible chez tous les animaux, et c'est ce qui a donné lieu à l'erreur qui consiste à croire que le durcissement du ventricule est l'effet de la systole de l'oreillette, qu'il correspond par conséquent à la diastole ventriculaire (1). Cette erreur est évidente pour quiconque a observé un intervalle entre la contraction de l'oreillette et le durcissement du ventricule. Très manifeste, chez le cheval, cet intervalle se raccourcit tellement chez les animaux qui ont les battements du cœur plus rapides, qu'il devient insaisissable avec les moyens actuels d'exploration.

Pendant la contraction du ventricule, l'oreillette a déjà, en général, terminé la sienne et est redevenue molle au toucher. Le ventricule, lorsqu'il s'est vidé (ce qui est plus ou moins rapide suivant certaines résistances qui seront indiquées plus loin), se relâche à son tour, redevient flasque et mou au toucher, et le sang arrive à son intérieur en coulant de l'oreillette déjà remplie. Enfin, l'oreillette se contracte de nouveau, achevant de remplir le ventricule, mais sans que cet afflux complémentaire amène de grands changements dans le volume et la dureté du ventricule. Celui-ci se contracte à son tour, et ainsi de suite.

Les conclusions que l'on peut déjà tirer de ces premiers faits sont les suivantes :

1° Les deux oreillettes se contractent ensemble ; il en est de même des deux ventricules.

2° La contraction de l'oreillette est séparée de celle du ventricule par un léger intervalle.

3° Après sa contraction, le ventricule se relâche, et, l'oreillette étant relâchée aussi, le cœur est momentanément dans un repos général pendant lequel il s'emplit lentement par l'arrivée du sang veineux.

b.—Déplacements et choc du cœur.—Le cœur, glissant avec une extrême facilité dans la cavité séreuse du péricarde, est le siége de mouvements nombreux et

(1) Beau, *Arch. gén. de méd.*, 2e série, t. IX, p. 389.

complexes : les uns, portant sur la totalité de l'organe, lui sont communiqués par la pesanteur ou par les déplacements du plancher diaphragmatique pendant la respiration ; les autres sont liés à l'état de contraction ou de repos des cavités. Ces derniers sont les plus importants.

Dans la pratique de l'auscultation, on constate facilement que, suivant la position du sujet, le cœur vient exécuter ses battements plus ou moins près de la paroi thoracique. Si le sujet dont on explore le cœur se couche sur le côté gauche, on sent au mieux les battements, en glissant la main sous le thorax, un peu au-dessous et en dehors du mamelon gauche ; si, étant assis, le patient se penche, un peu à gauche, l'oreille de l'observateur appliquée à la région cardiaque, perçoit les bruits du cœur avec une grande netteté. Qu'il se penche en sens inverse, son cœur, glissant en arrière, abandonnera les parois costales contre lesquelles il était appliqué tout à l'heure, et, par suite de ce changement de position, le choc et les bruits perdront un peu de leur intensité.

Des effets analogues sont produits par les mouvements respiratoires, et se traduisent toujours par un simple déplacement des *maxima* d'intensité des bruits et du choc du cœur, soit que le soulèvement du diaphragme élève la pointe du cœur pendant l'expiration, soit que l'ampliation du poumon, interposant une lamelle plus épaisse du tissu pulmonaire (mauvais conducteur du son) entre le cœur et l'oreille, rende les bruits moins éclatants : il n'y a jamais, dans tous ces cas, que des modifications dans le siége et l'intensité du choc et des bruits, qui restent inaltérés dans leurs rapports de succession et de durée.

Des mouvements du cœur qui sont liés à la contraction et au relâchement des oreillettes et des ventricules, le plus important de tous est celui par lequel le cœur vient ébranler la paroi thoracique : bien appréciable dans l'exploration clinique, il sert en effet de point de repère pour déterminer l'instant de la production des autres.

Harvey (1), nous l'avons dit, eut le premier occasion de reconnaître, sur l'homme, ce mouvement de propulsion du cœur, à l'aide duquel se produit le *choc précordial*, et il vit aussi que ce choc coïncide avec la systole ventriculaire. Haller confirma la remarque de G. Harvey par de nombreuses expériences, et dès lors ce fait fut admis comme un des mieux démontrés. C'est seulement dans ces dernières années que l'opinion générale trouva une formelle opposition dans une théorie soutenue par Corrigan (2), Beau (3), Burdach (4), etc.

Le choc du cœur, d'après Beau, est produit par la diastole du ventricule, au moment où ce dernier est rempli par la contraction de l'oreillette ; et si Harvey, comme tous ceux qui l'ont suivi, a attribué ce choc à la systole ventriculaire, c'est que le temps qui sépare la diastole du ventricule de sa systole est si court, qu'il a passé complétement inaperçu. — A cela l'expérimentation répond que, si, chez le cheval placé dans les conditions précédemment indiquées, on saisit d'une main une oreillette pendant que l'autre repose sur le ventricule, on peut se convaincre qu'il existe un intervalle très appréciable entre le moment de la contraction de l'oreillette et le soulèvement violent du ventricule qui produit le choc ; que, par

(1) *Loc. cit.*
(2) *On the Motions and Sounds of the Heart* (*Dublin Med. Trans.*, new Series, t. VIII, 1830).
(3) *Arch. gén. de méd.*, 2e série, t. IX, p. 394.
(4) *Traité de physiologie*, t. VI, p. 234, trad. franç. de Jourdan.

conséquent, ce dernier phénomène ne peut être l'effet de la contraction de l'oreillette dont l'énergie est d'ailleurs tout à fait insuffisante pour déterminer ce bondissement violent du cœur sous la main qui le presse. On verra en outre, à propos de l'étude des bruits, que le premier bruit coïncide exactement avec la systole du ventricule, et que, de plus, il est synchrone avec le choc du cœur, ce qui est une preuve évidente que le *choc du cœur est systolique* lui-même.

Quelle est la cause immédiate du *choc du cœur?* — Pour répondre à cette question, il faut bien se représenter tout d'abord les deux états des cavités ventriculaires, suivant qu'elles sont en repos ou en contraction. Pendant le repos, le cœur est mou, facilement dépressible sous le doigt; s'il repose sur un plan, il s'y étale par l'effet de la pesanteur et perd en diamètre vertical ou antéro-postérieur (*) ce qu'il gagne en largeur. Lors de sa contraction, il passe subitement à la forme globuleuse, et quoique son volume absolu diminue nécessairement dès qu'il s'est échappé du sang de son intérieur, le précédent diamètre vertical a notablement augmenté. Si l'on déprime le cœur avec le doigt pendant qu'il est en diastole, on sent, au moment de la contraction, que le doigt est énergiquement soulevé, et la fossette que la pression avait produite est remplacée par une rotondité complète. Si l'on repousse en haut la pointe du cœur, de manière à l'invaginer légèrement dans la cavité du ventricule pendant la diastole, cette pointe est énergiquement repoussée au dehors lors de la systole. Enfin les membres du comité de Dublin (1), expérimentant sur de grands mammifères, ont parfaitement vu aussi que le cœur, saisi entre les doigts, peut être facilement comprimé pendant sa diastole, et qu'au contraire, pendant sa systole, il écarte brusquement et fortement les doigts qui le pressent.

Les médecins du comité de Londres (2) ont observé, sur de grands mammifères, qu'en chargeant d'un poids (1 kilogr. environ) un cylindre qu'on appliquait sur les ventricules, ce cylindre déprimait la paroi pendant l'état de dilatation, mais était soulevé pendant celui de contraction. Il y a donc manifestement une tendance puissante du cœur à prendre, au moment de sa contraction, une forme définie, en vertu d'un mouvement brusque qui s'arrête soudainement dès que cette forme est atteinte. Cet arrêt est inséparable d'un ébranlement qui constitue ce qu'on appelle le *choc*. Ce n'est pourtant pas là un choc véritable, car le cœur n'est pas éloigné de la paroi costale pendant la diastole, et ne vient pas heurter contre elle au moment de la systole : les mouvements de totalité du cœur sont des glissements qui se font sans que le contact cesse. Si l'on voulait comparer le choc du cœur à un phénomène vulgaire qui en donnât une idée approximative, ce ne serait pas à la percussion d'un marteau qui rencontre un corps qu'il faudrait l'assimiler, mais à cette sorte d'ébranlement qui accompagne l'extension d'une courroie dont on tire brusquement en sens inverse les deux extrémités.

Fig. 13.

Que l'on imagine (fig. 13) une coupe des ventricules perpendiculaire à leur

(*) Ce diamètre est pris sur un cœur horizontalement couché.

(1) *Report of the British Associat.*, 1835, p. 214.

(2) *Report on the Motions and Sounds of the Heart* (*Brit. Assoc.*, Glascow, 1840, p. 180 et suiv.).

axe. Cette coupe, pendant le relâchement du cœur, figure une ellipse, puisque nous avons dit que le cœur, à ce moment, s'aplatit sur le plan diaphragmatique. Que le cœur se contracte, il passe soudainement à la forme globuleuse, comme cela a été expérimentalement constaté ; la coupe devient alors circulaire, ainsi qu'on le voit dans la figure ci-jointe, et le diamètre vertical s'agrandit. Or, pendant tout le temps où le raccourcissement des fibres du cœur n'a été employé qu'à produire ce changement de forme, la contraction n'a éprouvé que des résistances insignifiantes et s'est opérée avec rapidité; mais, dès que la forme globuleuse est atteinte, les fibres ne peuvent plus se raccourcir sans que le sang s'échappe du ventricule, ce qui nécessite un effort considérable. C'est précisément à ce moment qu'ont lieu le temps d'arrêt, l'apparition d'un obstacle subit à la contraction ventriculaire, et l'ébranlement qui en est la conséquence.

Il est fort difficile de bien exposer, dans une description, ce phénomène sans analogue même dans les expériences physiques; car, nulle part ailleurs que dans le cœur des animaux, on ne peut trouver une poche logeant un liquide, et qui, large et flasque d'abord, se resserre spontanément et soudainement sur son contenu. Mais lorsqu'on a senti dans sa main la contraction des ventricules qui entrent en systole, on se rend facilement compte de ce qui se passe.

Cette *théorie du choc du cœur* est à peu près celle qu'en ont donnée Chauveau et Faivre (1), qui la formulent ainsi : « La cause du choc réside dans le changement de forme et de consistance des ventricules, quand ceux-ci passent de la diastole à la systole, et dans l'instantanéité de cette transformation. »

Avant de quitter ce sujet, nous croyons devoir rappeler un argument que Beau a donné à l'appui de sa *théorie du choc diastolique*, et qui doit être combattu comme un des plus spécieux : si l'on ouvre l'une des oreillettes, on modifie aussitôt la direction du mouvement exécuté par la pointe du cœur; celle-ci ne se porte plus en avant, mais est déviée du côté opposé à l'oreillette restée intacte. — Dans la théorie de Beau, tout ici s'explique très bien ; car, dans l'intégrité des deux oreillettes, la direction rectiligne de la pointe du cœur résulte de la combinaison des deux impulsions obliques des oreillettes. Que l'une d'elles cesse d'envoyer du sang, le cœur sera obliquement dirigé par l'oreillette qui fonctionnera seule. Nous insistons sur cet argument, parce que dans la démonstration expérimentale il est très saisissant, et, au premier abord, semble imposer la théorie de Beau. Mais si l'on réfléchit, comme le fait judicieusement observer Milne Edwards (2), qu'on a changé la direction du plan de la base du cœur, et que par suite l'axe de figure de l'organe a dû s'incliner du côté lésé, on verra que le phénomène s'explique de lui-même, sans qu'on soit obligé d'admettre une théorie qui, du reste, tombe d'elle-même devant ce grand fait, « qu'il existe entre le choc du cœur et la systole de l'oreillette un intervalle de temps parfaitement démontrable ». — Ajoutons, comme dernière preuve, que, chez les animaux languissants, on voit souvent les systoles de l'oreillette et celles du ventricule ne plus se correspondre pour la fréquence, et dans ces cas on a pu observer tantôt des systoles de l'oreillette seule, et il n'y avait pas de choc du cœur, tantôt des systoles du ventricule seul, et le cœur offrait son choc habituel, malgré le repos complet des oreillettes (3).

(1) *Gazette médicale de Paris*, 1856, p. 570.
(2) *Ouvr. cit.*, t. IV, p. 17.
(3) Hope, *Treatise on Diseases of the Heart*, p. 33.

Il nous faudra mentionner d'autres opinions relatives à la cause du choc du cœur, en parlant tout à l'heure des autres mouvements de totalité exécutés par cet organe pendant ses alternatives de contraction et de relâchement; mais nous reconnaîtrons alors qu'aucune de ces autres influences mécaniques qu'on a invoquées n'est suffisante pour produire cette forte impulsion que nous avons vue se traduire par le soulèvement de poids considérables.

c. — Changements des diamètres du cœur pendant la systole et la diastole. — Galien (1) croyait à un allongement du cœur pendant la systole, et Vésale partagea cette erreur. Mais Harvey (2), Lancisi (3), Haller (4), avec d'autres physiologistes des XVIIe et XVIIIe siècles, établirent définitivement que le cœur est en réalité plus court pendant la systole, et que, si le contraire semble parfois exister, l'illusion tient à son changement de forme : la prédominance du raccourcissement transversal lui donnant un aspect plus effilé. — Des mesures prises au compas par la commission de Dublin (5) ont aussi montré un raccourcissement pendant la systole ventriculaire.

Ludwig (6), mesurant les différents diamètres du cœur sur le chat, après avoir placé au-dessous de l'organe un plan résistant sur lequel l'organe s'affaissait pendant la diastole, conclut que la tendance naturelle du cœur est d'affecter, au moment de la systole, une forme globuleuse dont la section à la base du cœur serait circulaire, tandis que, pendant le repos de l'organe, l'affaissement produit par la pesanteur donnerait à cette section une forme elliptique (fig. 13).

Dans leurs expériences, Chauveau et Faivre virent que, lors de la contraction des oreillettes, il se produit une sorte de mouvement vermiculaire qui, parti des appendices auriculaires, se propage bientôt dans tout le reste des oreillettes : à ce moment, leur diamètre transverse est peu diminué, tandis qu'il y a au contraire un raccourcissement marqué de leur diamètre vertical. — Quant aux ventricules, ces deux expérimentateurs ont eu recours à la mensuration circulaire, afin de n'être pas exposés à prendre pour un resserrement réel cette diminution du diamètre transversal, accompagnée d'augmentation du diamètre antéro-postérieur, que nous avons montrée dans la figure 13. Ils ont pu voir que, pour la base du ventricule, le périmètre reste le même pendant la systole et pendant la diastole, et que, par conséquent, en ce point, le resserrement apparent est dû au changement de forme de l'organe. Quant à la partie inférieure du ventricule, celle qui se rapproche de la pointe, elle est le siége d'un resserrement réel : son périmètre diminue pendant la systole.

d. — Locomotion du cœur. — Comme les ventricules se raccourcissent pendant leur contraction, on devait s'attendre à rencontrer, à chaque systole ventriculaire, une élévation de la pointe du cœur qui se rapprocherait de la base; et c'est en effet ce qui aurait lieu s'il n'y avait une descente de tout l'organe pendant cette systole. On peut s'assurer de l'existence de cette descente lorsqu'on examine la position du sillon transversal auriculo-ventriculaire; à chaque systole du ventricule, ce sillon descend d'une manière évidente pour remonter pendant la diastole.

(1) *De l'utilité des parties*, trad. de Daremberg, t. I, p. 402.
(2) *Exercit. de motu cordis*, p. 23.
(3) *De motu cordis*, lib. I, sect. 2, ch. II, p. 124.
(4) *Elem. physiol.*, t. I, p. 389. Lausanne, 1757.
(5) *Report on the Motions of the Heart.* Dublin, 1835, p. 245.
(6) *Ueber den Bau und die Bewegungen der Herzventrikel* (*Zeitschrift für rationelle Medizin*, 1849, t. VII, p. 205 et suiv.).

A quoi est dû ce *recul du cœur?* Il est démontré que, quand un liquide s'échappe avec force du vase qui le contient, ce vase tend avec une force égale à se porter en sens inverse. C'est sur ce principe qu'est basée la construction du tourniquet hydraulique. C'est encore une cause analogue qui produit le recul des armes à feu. Plusieurs auteurs ont pensé que c'est dans la même influence qu'on doit chercher la cause du recul du cœur. O'Brian (1) émit le premier cette théorie. Assurément il est légitime de supposer que cette cause puisse contre-balancer l'influence du raccourcissement systolique des ventricules et amener l'immobilité de la pointe du cœur, comme l'ont constaté Chauveau et Faivre, et même produire, dans certains cas, une légère descente de cette pointe, comme cela a été vu par O'Brian (2) et Bamberger (3).

Dans ces dernières années, Hiffelsheim (4) alla plus loin : il vit, dans le recul du cœur, la cause du choc précordial et institua des expériences fort ingénieuses pour démontrer ce recul. Nous admettons cette cause comme une de celles qui déterminent les mouvements de totalité du cœur, mais nous la croyons insuffisante pour produire le choc si énergique de cet organe, auquel elle pourrait tout au plus contribuer comme force adjuvante.

Il est encore d'autres influences mécaniques auxquelles on a attribué la locomotion du cœur et presque toujours aussi son choc. Ainsi, d'après Senac (5), W. et J. Hunter (6), le redressement de la courbure de l'aorte porterait le cœur en avant à chaque systole. — La direction des fibres musculaires a été considérée aussi comme pouvant soulever, à chaque battement, la pointe du cœur (7), en même temps qu'elle amène une sorte de torsion de cette pointe (*) qui irait frapper la poitrine, etc. — Quand on réfléchit à la faiblesse de ces causes, et qu'on la compare à l'intensité de l'effet qu'on leur attribue, on est conduit, sinon à rejeter complétement l'intervention du recul du cœur, du redressement de l'aorte, de la direction des fibres des ventricules, etc., du moins à considérer toutes ces influences comme secondaires, agissant uniquement pour produire les déplacements du cœur et comme dépourvues conséquemment de l'importance si grande que leur ont attribuée divers physiologistes.

Bruits du cœur.

Si nous analysions toutes les opinions émises sur la cause des bruits du cœur, on verrait que c'est là le point le plus controversé de l'histoire de la circulation, sans doute parce que c'est celui qui offre aussi la plus grande importance pratique, et que, pressés par la nécessité d'avoir une théorie pour éclairer l'auscultation

(1) *Case of Partial Ectropia* (*American Journ. of Med. Sc.*, 1838, t. XXIII, p. 195).

(2) *Loc. cit.*

(3) *Beiträge zur Physiologie und Pathologie des Herzens* (*Arch. für pathol. Anat. und Physiol.*, 1856, t. IX, p. 328).

(4) *Mémoires de la Société de biologie*, 1855, p. 273. — *Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris*, 1855, t. XLI, p. 255. — *Ibid.*, 1856, t. XLIII, p. 715.

(5) *Traité de la structure du cœur*, 1777, t. I, p. 356.

(6) *Œuvres compl.* (*Traité de l'inflammation*), trad. franç. par Richelot.

(7) BORELLI, *De motu animalium*, t. II, prop. LIII, p. 80. — H. CARLISLE, *Brit. Associat.* Cambridge, 1833, p. 455. — PARCHAPPE, *Du cœur, de sa structure et de ses mouvements*, p. 106. — P. BÉRARD, *Cours de physiol.* Paris, 1851, t. III, p. 629.

(*) A. VERNEUIL (*Rech. sur la locomotion du cœur*, thèse inaugur., Paris, 1852, n° 36, p. 47) attribue ce mouvement aux fibres unitives superficielles qui, nées de l'orifice auriculo-ventriculaire droit, descendent obliquement à gauche sur la face antérieure du cœur.

clinique, la plupart des observateurs ont voulu se faire une idée de la production de ces bruits, sans recourir à l'expérimentation d'ailleurs fort difficile sur ce sujet. — Fidèle à notre méthode d'exposition, nous donnerons tout d'abord les résultats des expériences les plus décisives, sauf à revenir sur quelques détails, et à indiquer, dans un court tableau historique de la question, la part qui revient à chaque auteur.

Sur le cheval, placé dans les mêmes conditions que pour l'étude des mouvements du cœur, on perçoit aisément les bruits au moyen du stéthoscope. Nous avons déjà dit quelle est la succession ordinaire des deux bruits qu'on entend alors: le *premier* est *sourd* et coïncide avec le choc du cœur ; le *second*, *plus clair*, arrive un instant après, au moment où tout le cœur est dans le relâchement ; puis il y a un silence, assez long en général par rapport à l'intervalle précédent, et le premier bruit recommence avec la révolution suivante du cœur.

Puisque le premier bruit coïncide avec le choc du ventricule, nous savons déjà que c'est un bruit systolique, et il est facile d'en acquérir la certitude comme on l'a fait pour le choc. Il suffit, en effet, pendant qu'on ausculte le cœur, mis à nu chez un grand mammifère (cheval), de tenir d'une main une oreillette, tandis que, de l'autre, on appuie sur le ventricule : on constate alors que l'oreillette se contracte silencieusement, et que le durcissement du ventricule coïncide avec le premier bruit.

Cette première conviction une fois acquise, il s'agit de chercher *le lieu où les bruits du cœur ont leur maximum d'intensité*. En promenant le stéthoscope sur les différents points du cœur mis à découvert, on reconnaît que le premier bruit s'entend presque également bien sur toute la partie ventriculaire, tandis que le second offre, comme points précis où il atteint sa plus grande force, la base du cœur ou le niveau des origines de l'aorte et de l'artère pulmonaire.

Enfin, il faut déterminer, parmi les actions complexes qui remplissent une révolution du cœur, laquelle donne naissance à chacun des deux bruits.

On peut tout de suite se rendre compte de la *cause du second bruit:* cette cause est la tension brusque des valvules sigmoïdes de l'aorte et de l'artère pulmonaire pendant le relâchement du ventricule, et sous l'effort du sang artériel refoulé par la réaction élastique de l'aorte et de l'artère pulmonaire.

Les preuves abondent à l'appui de cette théorie. En voici quelques-unes qui seront suffisantes pour faire reconnaître toute sa validité:—Si l'on empêche les mouvements valvulaires sur l'un de ces vaisseaux, en le pinçant à sa base, aussitôt on supprime le second bruit en ce point ; si l'on détruit les valvules des deux côtés, on peut complétement éteindre le second bruit. — Ce bruit disparaît encore lorsqu'on excise la pointe du cœur, et que le sang chassé par le ventricule, s'échappant complétement à l'extérieur, ne produit plus le soulèvement des valvules sigmoïdes, qui, par conséquent, n'ont plus à retomber ni à se tendre avec bruit. D'autre part, si l'on ouvre l'aorte et l'artère pulmonaire, de manière que le sang n'ait plus une forte tension dans ces vaisseaux, on supprime la chute brusque de ces valvules, et par suite le second bruit. — En appliquant le doigt sur l'origine de l'aorte ou de l'artère pulmonaire, on peut sentir en ce point, qui est précisément au niveau des valvules, un léger ébranlement qui coïncide avec le second bruit. — Dans leurs expériences, les médecins des comités anglais (1) soulevaient avec

(1) Hope, *A Treatise on the Diseases of the Heart*, p. 37.

des tiges métalliques les valvules sigmoïdes, qu'ils tenaient appliquées contre les parois de l'artère, et, dans cette position des valvules, le second bruit disparaissait. Chauveau et Faivre (1) ont répété cette expérience au moyen d'une sorte de trocart à branches multiples logées dans une gaîne commune : après avoir plongé cet instrument, par l'aorte et l'artère pulmonaire, jusqu'au niveau des orifices correspondants du cœur, ils écartaient les branches en retirant la canule, et accolaient ainsi les valvules aux parois artérielles ; dès lors le second bruit était supprimé.

Nous croyons inutile de multiplier davantage les preuves de la production du second bruit par le claquement des valvules sigmoïdes. Il est possible, du reste, de se rendre compte, d'après les lois physiques, de la formation d'un tel son : on en obtient, en effet, de semblables par la tension d'une membrane sous l'effort d'une colonne liquide. On peut encore, comme l'a démontré Rouanet (2), en adaptant à un tube le tronçon initial d'une aorte munie de ses valvules, entendre un bruit se produire toutes les fois qu'un reflux de liquide fait brusquement claquer ces valvules en les fermant.

Il semble donc qu'aujourd'hui il n'y ait plus de doute possible sur l'exactitude de cette théorie du second bruit du cœur. Suivant Milne Edwards (3), Carswell aurait, le premier, donné cette explication, qui n'a été bien connue et vulgarisée que par les expériences de Rouanet.

La *cause du premier bruit* est plus difficile à déterminer que celle du second ; aussi serons-nous forcé de reproduire les principales opinions émises à cet égard, pour en arriver à conclure que le premier bruit du cœur est probablement complexe dans ses causes.

Puisqu'il est établi que le premier bruit coïncide avec la systole ventriculaire, il faut bien supposer qu'il se rattache soit à un, soit à plusieurs des phénomènes qui se passent dans le cœur à ce moment, et qui sont les suivants : le choc précordial, — l'écartement des valvules sigmoïdes, — le rapprochement ou l'occlusion des valvules auriculo-ventriculaires, — la contraction des fibres musculaires du ventricule.

Le choc du cœur contre le sternum était, pour Magendie (4), la cause du premier bruit : cet observateur disait avoir constaté, dans ses expériences, qu'en enlevant le sternum ou bien en interposant, entre le cœur et cette plaque osseuse, soit une couche d'étoupe, soit une certaine quantité d'eau à l'aide d'une injection dans le péricarde, il cessait d'entendre le premier bruit. Mais les expérimentateurs anglais (5) n'ont trouvé qu'une diminution d'intensité du son par l'interposition d'un corps mauvais conducteur, et non une suppression complète du premier bruit. Du reste, comme en auscultant, à l'aide du stéthoscope, le cœur mis à nu, on entend distinctement ce bruit chez un grand mammifère, et qu'il ne peut y avoir choc du cœur contre l'instrument, puisqu'il y a contact permanent entre les deux, il faut rejeter l'intervention du choc.

Nous ne dirons rien de l'écartement brusque des valvules sigmoïdes, comme

(1) *Gazette médicale de Paris*, 1856, n° 30, p. 458.
(2) *Analyse des bruits du cœur*, thèse inaug. Paris, 1832, n° 252.
(3) *Ouvr. cit.* Paris, 1859, t. IV, *p.* 43.
(4) *Des phénomènes physiques de la vie*, *t. I*, *p.* 235.
(5) *Report of the Dublin sub-Committee*, *p.* 246.

cause du premier bruit. Cruveilhier (1) a émis cette opinion, qui a été complétement réfutée par les expériences de la commission de Londres et aussi par celles d'autres observateurs.

Les valvules auriculo-ventriculaires, en se fermant pendant la systole des ventricules, ont été considérées par Rouanet comme produisant le premier bruit du cœur, de même que le claquement des valvules sigmoïdes de l'aorte et celui de l'artère pulmonaire produisent le second bruit. De nombreuses objections s'étaient élevées contre cette manière de voir, et la théorie du claquement valvulaire n'était plus guère admise que pour la production du second bruit, où elle est manifestement vraie. Tout récemment, Chauveau et Faivre (2) ont cherché à la relever. Dans leurs expériences, en ouvrant une oreillette et y introduisant le doigt jusqu'à l'une des valvules auriculo-ventriculaires, ils pouvaient constater l'instant exact où ces valvules se ferment, le doigt étant alors frappé par ces membranes tendues qui font relief dans la cavité de l'oreillette. Si en même temps ils auscultaient le cœur, ils percevaient le premier bruit au moment même de l'occlusion valvulaire. De là pour eux cette conséquence, que c'est le claquement des valvules auriculo-ventriculaires qui donne lieu au premier bruit. Ce fait n'est pas concluant, car le premier bruit et l'occlusion valvulaire étant des phénomènes systoliques, sont nécessairement simultanés sans être nécessairement reliés entre eux par des rapports de cause à effet. Ces expérimentateurs crurent se mettre à l'abri de tout reproche en montrant que la destruction des valvules auriculo-ventriculaires supprime le premier bruit, et qu'on le supprime également par la section des cordages tendineux qui fixent ces valvules. Il importe de faire observer qu'alors on a livré au sang une large voie de reflux dans l'oreillette, et qu'on a supprimé par conséquent ce *temps d'arrêt* dans la contraction du cœur, qui survient lorsque cet organe est arrivé à la forme globuleuse.

Or, c'est ce temps d'arrêt qui produit le choc du cœur ; c'est lui aussi qui donne lieu, en grande partie, au *premier bruit*. En effet, cet arrêt brusque, s'accompagnant d'une commotion, doit présenter aussi un de ces bruits *solidiens* dont la chute des valvules sigmoïdes nous a déjà fourni un exemple. De part et d'autre, il y a une sensation d'ébranlement perceptible au doigt et accompagnée de bruit, et néanmoins, dans le cas de l'abaissement des valvules sigmoïdes, il n'y a pas eu percussion, le liquide n'a pas cessé d'être au contact des valvules. Ce n'est pas tout : un muscle quelconque, pendant sa contraction, donne naissance à un bruit sourd qu'on a appelé *bruit rotatoire*, *bruit musculaire*. Il est évident, *à priori*, que, pour la contraction du ventricule, ce phénomène doit avoir lieu et contribuer pour sa part à la production du premier bruit. Les membres du comité de Londres admirent l'existence de cette cause, ajoutée à celle dont nous avons parlé plus haut, et qu'ils appelèrent *son intrinsèque* du cœur.

En résumé, le premier bruit du cœur est de la nature de ceux que Cagniard-Latour appelle *bruits solidiens;* il est intimement lié au phénomène décrit sous le nom de *choc du cœur*, et dépendant comme lui de l'arrêt brusque de la contraction des ventricules, lorsque ceux-ci sont arrivés à la forme globuleuse. Ce bruit, une fois produit, peut être prolongé et renforcé par le *bruit rotatoire* qui provient de la contraction musculaire; mais cette dernière influence paraît devoir être bien faible.

(1) *Note sur les mouvements et les bruits du cœur* (*Gaz. méd. de Paris*, 1841, t. I, p. 497).
(2) *Rec. cit.*, p. 458.

Tableau résumant les théories émises sur les causes des bruits du cœur. — Nous pouvons maintenant faire une énumération rapide des différentes théories qui ont été proposées pour se rendre compte des bruits du cœur. En montrant ainsi quelles étranges idées physiologiques ont régné pendant longtemps sur ce point de la science, nous ne chercherons pas à combattre certaines assertions erronées qui ne soutiennent pas l'examen et se trouvent réfutées d'avance par les expériences que nous avons rapportées. C'est au *Traité d'auscultation* de Barth et Roger qu'est emprunté le tableau suivant qui résume les diverses opinions.

	1er BRUIT.	2e BRUIT.
LAENNEC.	Contraction ventriculaire.	Contraction auriculaire.
TURNER.	Contraction ventriculaire.	Choc du cœur retombant sur le péricarde pendant la diastole.
*CORRIGAN.	Choc du sang contre les parois ventriculaires, dans la diastole.	Choc réciproque de la surface interne des parois opposées des ventricules pendant la systole.
D'ESPINE.	Contraction ventriculaire.	Dilatation ventriculaire.
PIGEAUX (1832).	Choc du sang contre les parois ventriculaires, au moment de la diastole.	Choc du sang contre les parois de l'aorte et de l'artère pulmonaire, au moment de la systole.
* PIGEAUX (1839).	Frottement du sang contre les parois des ventricules, les orifices et les parois des gros vaisseaux, au moment de la systole.	Frottement du sang contre les parois des oreillettes, les orifices auriculo-ventriculaires et la cavité des ventricules, au moment de la diastole.
HOPE (1831).	Collision moléculaire du sang dans la systole.	Collision moléculaire du sang dans la diastole.
HOPE (1839).	Bruit de tension des valvules, bruit d'extension musculaire, bruit rotatoire dans la systole.	Claquement des valvules sigmoïdes dans la diastole.
ROUANET.	Claquement des valvules auriculo-ventriculaires dans la systole.	Claquement des valvules sigmoïdes dans la diastole.
* PIORRY.	Passage du sang dans les cavités du cœur gauche.	Passage du sang dans les cavités droites.
*PIÉDAGNEL.	Contraction du ventricule gauche.	Contraction du ventricule droit.
CARLISLE.	Irruption du sang dans les artères pendant la systole.	Claquement des valvules sigmoïdes dans la diastole.
MAGENDIE.	Choc de la pointe du cœur contre le thorax, au moment de la systole.	Choc de la face antérieure du cœur, au moment de la diastole.
* BURDACH.	Irruption du sang dans les ventricules contenant de l'air, au moment de la contraction des oreillettes.	Projection du sang dans les artères contenant de l'air, au moment de la systole.
BOUILLAUD.	Redressement brusque et choc des faces opposées des valvules auriculo-ventriculaires, et abaissement soudain des valvules sigmoïdes pendant la systole.	Redressement des valvules sigmoïdes et choc de leurs faces opposées, et abaissement soudain des valvules auriculo-ventriculaires, au moment de la diastole.
GERDIN.	Vibrations résultantes de la collision du sang dans la systole.	Percussion du sang contre les parois ventriculaires, au moment de la diastole.
CHEVEILHER.	Redressement brusque des valvules sigmoïdes par la systole.	Abaissement de ces valvules au moment de la diastole.

	1er BRUIT.	2e BRUIT.
SKODA.	1er bruit ventriculaire : choc du sang contre les valvules auriculo-ventriculaires; impulsion de la pointe du cœur contre le thorax. 1er bruit artériel : choc du sang contre les parois de l'aorte et de l'artère pulmonaire dans la systole.	2e bruit ventriculaire : choc de la colonne sanguine contre les parois des ventricules, dans la diastole. 2e bruit artériel : choc rétrograde de la colonne sanguine sur les valvules sigmoïdes.
*BEAU.	Choc de l'ondée sanguine contre les parois des ventricules, dans la diastole ventriculaire.	Choc de la colonne sanguine, arrivant par les veines, contre les parois des oreillettes.
G. WILLIAMS.	Contraction musculaire des ventricules pendant la systole.	Choc en retour des colonnes sanguines contre les valvules sigmoïdes, pendant la diastole.
COMITÉ DE DUBLIN.	Frottement du sang sur les parois des ventricules, et contraction musculaire pendant la systole.	Tension des valvules semi-lunaires, et choc en retour des colonnes sanguines, pendant la diastole.
COMITÉ DE LONDRES (1836).	Tension musculaire soudaine des ventricules dans la systole et choc du cœur contre le thorax.	Occlusion brusque des valvules sigmoïdes par les colonnes sanguines artérielles.
COMITÉ DE PHILADELPHIE.	Contraction musculaire des ventricules et claquement des valvules auriculo-ventriculaires pendant la systole.	Occlusion des valvules sigmoïdes par le choc en retour des colonnes sanguines artérielles.

Il serait certainement indispensable, pour diagnostiquer exactement les affections organiques du cœur, d'avoir une théorie parfaite des mouvements de cet organe et des causes de ses bruits ; et l'on pourrait s'étonner, en présence de tant de dissidences, que les médecins qui se basaient sur de telles théories eussent pu porter des diagnostics même approximatifs. Il faut néanmoins remarquer que, dans la plupart des cas, la question capitale est de bien savoir, d'après l'auscultation, si un bruit est normal ou anormal, s'il appartient à la systole des ventricules ou à leur diastole. Or, la plupart des précédentes théories s'accordent à considérer le premier bruit comme coïncidant avec la systole ventriculaire, et le second avec la diastole ; il n'en faut défalquer que celles qui sont marquées d'un astérisque. — La théorie de Beau, admettant une succession extrêmement rapide entre la contraction de l'oreillette et celle des ventricules, de telle sorte que l'intervalle entre ces deux mouvements soit inappréciable sur l'homme, est à peu près aussi applicable que les autres au diagnostic de la plupart des affections du cœur.

Dans la pratique de l'auscultation, on a l'habitude de désigner les bruits anormaux, qui remplacent les bruits physiologiques, par les mots de *bruits de souffle* au premier temps ou au second temps, suivant qu'ils remplacent le premier ou le second bruit normal. Cette substitution du mot *temps* à celui de *bruit* n'a pour avantage que d'éviter une répétition malsonnante : on dit bruit de souffle au premier temps, et non *bruit de souffle à la place du premier bruit*. Sans vouloir combattre une façon de s'exprimer que l'usage semble avoir consacrée, nous ferons remarquer qu'il y a désaccord avec la succession réelle des mouvements du cœur ; car si, dans l'ordre d'énumération des mouvements de cet organe, on suit l'itinéraire du sang, on est bien forcé de mettre la réplétion du cœur avant le moment où il se vide.

Nous ne saurions mieux faire, pour donner une idée exacte des mouvements

coïncidant entre eux à chaque révolution du cœur, que de reproduire le tableau synoptique qu'en ont donné Chauveau et Faivre.

Dans ce tableau, le cercle le plus excentrique indique les *mouvements* de l'oreil-

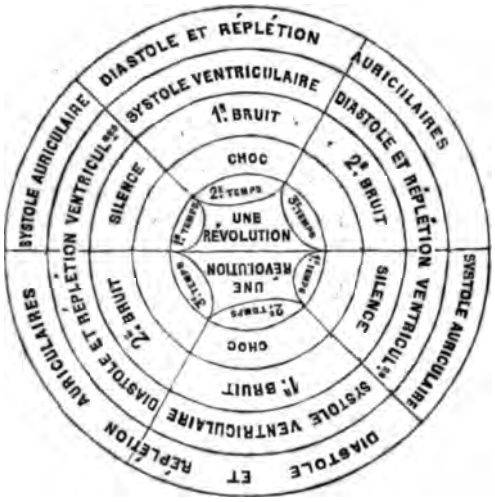


Fig. 14.

lette; le deuxième, ceux des ventricules; le troisième indique les *bruits*, et le quatrième le *choc*.

Les mouvements et les bruits notés dans un même segment sont des phénomènes simultanés.

Quant à la durée relative de chacun d'eux, les auteurs de ce tableau ont cherché à proportionner l'ouverture de l'angle qui contient chaque segment à la durée des phénomènes correspondants. Nous n'attachons que peu d'importance à ce point; en effet, autant la succession des mouvements est régulière dans son ordre, autant elle l'est peu dans son rhythme.

Fréquence des battements du cœur.

La fréquence des battements du cœur constitue un des points les plus importants de la sémiotique de cet organe; de plus, elle offre dans son étude un grand intérêt physiologique, puisqu'elle peut à elle seule indiquer l'état de la circulation dans l'ensemble de l'économie.

Les causes de la fréquence plus ou moins grande des battements du cœur ont d'abord été étudiées empiriquement; mais, par suite de la multiplicité des influences qui peuvent modifier l'activité de cet organe, soit directement, soit indirectement, le mode d'action de la plupart d'entre elles reste encore inexpliqué. Pour apprécier le nombre des battements cardiaques, on peut simplement compter le pouls à l'aide d'une montre à secondes, puisque, chez l'homme sain, il y a toujours une pulsation artérielle correspondante à chaque systole ventriculaire. C'est là le moyen qui, une fois introduit dans la pratique médicale, n'a plus cessé d'être mis en usage par tous les observateurs.

Si l'on compare la fréquence du pouls aux *différents âges*, on voit que, d'une manière générale, les pulsations diminuent de nombre des premiers temps de la vie à l'âge adulte, pour reprendre ordinairement un peu de fréquence dans la vieillesse (Leuret et Mitivié). De nombreux tableaux ont été dressés à ce sujet par divers auteurs; nous en extrairons seulement quelques moyennes.

136 pulsations durant les premiers jours de la naissance, 88 à cinq ou six ans, 78 de dix à quinze ans, 70 vers la vingtième année, telles sont les moyennes publiées par Quetelet (1).

Pendant la vie intra-utérine, le nombre des battements du cœur du fœtus se constate par l'auscultation à travers les parois abdominales de la mère. Ainsi on peut reconnaître que ces battements ont une grande fréquence : de 133 à 145 par minute. Voici les *moyennes* que donnent différents observateurs :

D'après Dubois (2)	144
Jacquemier (3)	133
Hohl (4)	138
Nægele (5)	135
Churchill (6)	136

Aussitôt après la naissance, la fréquence du pouls semble peu varier. On observe néanmoins une légère recrudescence à partir du troisième mois, et pendant la durée de la dentition; depuis l'âge de deux ans, la décroissance du pouls devient assez régulière jusqu'à l'âge adulte.

Les chiffres de la fréquence *moyenne* du pouls, dans les premiers jours de la naissance, sont :

D'après J. Floyer (7)	134
Bryan-Robinson (8)	150
Haller (9)	140
Quetelet (10)	136

Volkmann (11) et Guy (12) ont donné des tableaux comparatifs de la fréquence du pouls suivant le *sexe*, aux différentes époques de la vie. Il résulte de ces tableaux que, pendant l'enfance, la fréquence diffère peu chez les deux sexes; mais, à mesure que le sujet avance en âge, la fréquence devient plus grande chez la femme, et cela jusque dans la vieillesse la plus avancée.

Ce fut longtemps une opinion accréditée que le pouls des vieillards est plus lent que celui des jeunes sujets : Leuret et Mitivié (13), Dechambre et Hourmann (14)

(1) *Sur l'homme et le développement physique de ses facultés*. Bruxelles, 1835, t. II.
(2) *Archives gén. de méd.*, 1831, t. XXVII, p. 465.
(3) *De l'auscultation appliquée au système vasculaire des femmes enceintes et du fœtus*, thèse inaug., n° 466. Paris, 1837, p. 19.
(4) *Die geburtshülfliche Exploration*. Ebend., 1833, t. I.
(5) *Die geburtshülfliche Auscultation*, 1838, p. 35.
(6) *On the Rhythm of the Heart of the Fœtus in utero* (*Dublin Quarterly Journ. of Med. Science*, 1855, t. XIX, p. 326).
(7) Cité par HALLER, *Elem. physiol.*, t. II, p. 259.
(8) *Treatise of the Animal Œconomy*. Dublin, 1732, in-8°.
(9) *Elementa physiologiæ*, t. II, p. 259.
(10) *Ouvr. cit.*, t. II, p. 84.
(11) *Hämodynamik*, etc.
(12) Art. *Pulse* (TODD'S *Cyclopædia of Anat. and Phys.*, t. IV, p. 184).
(13) *De la fréquence du pouls chez les aliénés*, mars 1832, p. 39.
(14) *Rech. clin. pour servir à l'hist. des maladies des vieillards* (*Arch. gén. de méd.*, nov. 1835, t. IX, 2e série).

concoururent, les premiers, à détruire cette erreur. Au contraire, après eux, beaucoup d'observateurs sont venus aussi constater l'augmentation de la fréquence du pouls chez les vieillards : la moyenne serait de 74 pulsations pour ces derniers, au lieu de 65 que l'on observe chez les adultes.

Dans toutes les évaluations de cette nature, il faut avoir grand soin de mettre les sujets qu'on observe dans les mêmes conditions ; sans quoi, les résultats seraient très modifiés par diverses influences telles que l'état de digestion ou d'abstinence, l'attitude du corps, l'action musculaire, etc. Encore ne peut-on se mettre à l'abri de ces variations individuelles, à causes inconnues, qui font que, chez deux sujets sains, de même âge et dans des conditions identiques en apparence, le pouls peut être chez l'un de 40 pulsations par minute (*), et chez l'autre de 100.

Le travail de la *digestion* accélère la fréquence du pouls, et la nature des aliments ingérés joue un grand rôle dans cette accélération, qui atteint son maximum par l'usage de l'alcool et du café. L'abstinence ralentit, au contraire, les battements du cœur.

L'*attitude* du sujet amène les variations suivantes : dans la station verticale, le pouls a son maximum de fréquence ; il devient plus rare dans la position assise, plus rare encore dans la position horizontale. Pour éliminer l'influence de l'effort musculaire inséparable de la station verticale, Graves (1) a fixé des individus sur une planche à bascule dont il faisait varier l'inclinaison : il a vu ainsi que, entre la fréquence maximum qui s'observe dans la position verticale du sujet et la fréquence minimum, il y a des différences de 9 à 18 pulsations par minute ; les plus grandes différences s'observaient dans les cas où il y avait le plus de fréquence.

Quant à l'influence de l'*exercice musculaire*, tout le monde a pu la constater, elle est en raison de la violence des efforts produits. — La *température* ambiante exerce aussi une action notable. Une étuve chauffée graduellement peut faire passer le pouls par tous les degrés successifs d'accroissement : à 48°,88, le pouls était à 155 pulsations, au bout de trente-cinq minutes de séjour dans cette atmosphère échauffée (2). Réciproquement, les douches froides amènent le ralentissement du pouls à mesure que le sujet se refroidit ; ce fait ressort de tableaux donnés par Bence Jones et W. Dickinson (3). — Les *saisons* et les *climats*, en modifiant la température ambiante, produisent les mêmes variations.

Il existe des *variations diurnes* dans la fréquence du pouls ; mais ces changements, difficiles à observer, sont notablement influencés par les fatigues de la journée.

La *pression atmosphérique* détermine aussi des variations dans le chiffre du pouls. Les premières observations sur ce sujet furent faites par les voyageurs, dans les ascensions de hautes montagnes, et par les aéronautes. Bénédict de Saussure (4), Gay-Lussac (5), Parrot (6), Lepileur (7), etc., sont unanimes pour

(*) Le pouls de Napoléon Ier ne donnait, assure-t-on, que 40 battements par minute. — Voy. TOURNESCO, *Du pouls*, thèse inaug., n° 99. Paris, 1853, p. 34.

(1) *On the Effects Produced by Posture on the Frequence and Character of the Pulse* (*Dublin Hospital Reports*, t. V, p. 561).

(2) FOURRIER, *Du pouls*, thèse inaug. Paris, 1854.

(3) *Journ. de physiol. de l'homme et des animaux*, année 1858, t. I, p. 72.

(4) *Voyage dans les Alpes*, t. IV, p. 207.

(5) *Annales de chimie*, an XIII, t. LII, p. 89.

(6) FROMIEP'S *Notizen*, 1820, t. X, p. 216.

(7) *Revue médicale*, mai 1846, p. 106.

signaler ces effets ; la diminution de la pression atmosphérique augmente la fréquence du pouls. Cependant Milne Edwards (1) est porté à croire que, dans les ascensions sur des montagnes élevées, la plus grande part, dans l'accélération du pouls, doit être attribuée à la fatigue musculaire ou à d'autres causes. En effet, chez les habitants de pays situés à des latitudes très différentes, on ne trouverait pas, suivant cet observateur, de semblables variations dans le chiffre du pouls.

Dans certains appareils analogues à la cloche de plongeur, on peut comprimer l'air à plusieurs atmosphères. Chez les sujets placés dans ce milieu, la fréquence du pouls diminue. Ainsi, dans les appareils à air comprimé de Pravaz (2) et de Tabarié (3), la diminution est parfois considérable, le pouls tombe alors de 45 à 50 pulsations par minute, ce qui est une prodigieuse réduction du nombre de ses battements, surtout dans les cas où il existait une fréquence fébrile au commencement de l'expérience. Déjà, en augmentant la pression seulement d'une *demi-atmosphère*, on voit, dit Pravaz, le pouls baisser quelquefois des deux cinquièmes.

Les *mouvements respiratoires* produisent ici des effets très complexes : tantôt ils augmentent, et tantôt diminuent la fréquence du pouls. D'après Donders (4), des respirations fréquentes, volontairement produites, accélèrent les battements du cœur. Dans la plupart des conditions physiologiques, il existe du reste constamment un rapport direct d'accroissement et de diminution entre les mouvements respiratoires et les battements du cœur. — Lorsqu'il y a effort violent, soit d'inspiration, soit d'expiration, on voit se produire des modifications très considérables dans les mouvements du cœur. E. F. Weber (5) a vu, dans des efforts d'expiration, le pouls devenir plus faible et plus rare, et quelquefois il est même survenu un arrêt complet du cœur, avec syncope passagère. J. Müller pouvait, par une violente inspiration, la glotte étant fermée, supprimer un ou plusieurs battements de son cœur.

L'influence de la *taille* du sujet sur la fréquence du pouls est manifeste, et l'on peut dire, d'une manière générale, que le cœur bat d'autant plus vite que le sujet est de plus petite taille. Rameau a même cherché à dresser des tables qui permettraient de déterminer, d'après la taille toute seule, le chiffre de fréquence du pouls. De telles prétentions sont évidemment exagérées, et nous n'avons pas besoin d'insister sur ce point, après ce que nous avons dit des variations individuelles si considérables qu'on rencontre parfois sur des sujets d'apparence toute semblable. — En comparant entre eux des animaux mammifères de stature très différente, on voit nettement l'influence de la taille sur la fréquence du pouls : ainsi, chez le cheval et le bœuf, le cœur bat de 36 à 40 fois par minute ; chez l'âne, 50 fois ; chez le mouton, de 60 à 80 ; chez le chien, 120 ; chez le lapin, 150 ; chez les petits rongeurs, 175 fois (6), etc.

La fréquence des battements du cœur diminue beaucoup pendant le sommeil léthargique des mammifères hibernants. — Chez l'homme, le pouls devient aussi plus rare pendant le *sommeil* : c'est là probablement un effet des deux influences combinées du repos musculaire et de la position horizontale.

(1) MILNE EDWARDS, *ouvr. cit.*, t. IV, p. 78.
(2) *Essai sur l'emploi médical de l'air comprimé*, in-8. Paris, 1850, p. 37.
(3) *Comptes rendus des séances de l'Acad. des sc. de Paris*, année 1838, t. VI, p. 896 ; année 1840, t. XI, p. 26.
(4) *Zeitschrift für ration. Med.*, 2e série, 1854, t. IV, p. 241.
(5) *Archives gén. de méd.*, 5e série, 1853, t. I, p. 399.
(6) MILNE EDWARDS, *ouvr. cit.*, t. IV, p. 63.

Telles sont les différentes causes, expérimentalement constatées, qui exercent sur fréquence du pouls une influence plus ou moins prononcée. Quant au mode ction de ces causes, il est souvent obscur, et, dans ce chaos de conditions dif- ents qui agissent sur le pouls d'une manière semblable, il est souvent bien icile de saisir une relation quelconque.

Dans ces derniers temps, Marey (1) essaya de se rendre compte de la manière nt ces causes pouvaient agir. En étudiant celles qui ont une action physique- ent appréciable sur le cours du sang, il signala les changements qui survien- nt dans les conditions dynamiques du cœur, sous l'influence d'un grand mbre de circonstances dont nous avons parlé; puis, transportant au cœur les s de l'action musculaire de la vie animale, il arriva à cette conclusion, que *les uvements du cœur sont d'autant plus fréquents en un temps donné, qu'il y a ins d'obstacles à vaincre pour l'accomplissement de la systole ventriculaire.*

Il est bien entendu que ces causes mécaniques des changements de fréquence s les battements du cœur n'excluent pas les autres influences qui peuvent, utre part, agir sur l'état nerveux du cœur ou sur la contractilité propre aux pa- s de cet organe.

Marey rappelle d'abord que, quand on veut, par la contraction d'un muscle elconque, exécuter une série de mouvements rhythmés, la fréquence de ux-ci est d'autant plus grande que la résistance à vaincre est moindre. Ainsi, l s'agit d'imprimer à un poids des mouvements d'élévation et d'abaissement ernatifs, on en exécute d'autant plus, en un temps donné, que ce poids est oindre. *A priori*, en voyant cette loi de la dynamique se retrouver dans les con- ctions de tous les muscles de la vie animale, on est conduit à supposer que le eur ne doit pas y échapper non plus, et cette induction se change en certitude rsqu'on examine les variations de fréquence du pouls sous les diverses actions i peuvent faire varier la résistance éprouvée par le cœur.

D'après ce qui a été dit précédemment, on sait que la résistance que le ven- icule rencontre, à chaque systole, n'est autre que la pression du sang sur les lvules sigmoïdes, c'est-à-dire la *tension artérielle.* Nous verrons plus tard que tte tension est très variable, suivant les conditions physiologiques dans lesquelles trouve le sujet, et que ces variétés, quand l'action du cœur reste la même, nnent au passage plus ou moins facile du sang des artères dans le système vei- ux, par l'intermédiaire des vaisseaux capillaires.

Devant revenir sur ce point à propos de la *circulation artérielle*, nous ne con- gnerons ici que la conclusion générale de l'auteur (2).

« Toutes choses égales d'ailleurs, une condition qui facilitera le passage du ng des artères dans les veines augmentera la fréquence des battements du eur.

» Réciproquement, une condition qui rendra ce passage plus difficile ralentira les battements de cet organe. »

(1) *Comptes rendus de la Société de biologie* (*Gaz. méd. de Paris*, 1860).
(2) *Loc. cit.*

clinique, la plupart des observateurs ont voulu se faire une idée de la production de ces bruits, sans recourir à l'expérimentation d'ailleurs fort difficile sur ce sujet. — Fidèle à notre méthode d'exposition, nous donnerons tout d'abord les résultats des expériences les plus décisives, sauf à revenir sur quelques détails, et à indiquer, dans un court tableau historique de la question, la part qui revient à chaque auteur.

Sur le cheval, placé dans les mêmes conditions que pour l'étude des mouvements du cœur, on perçoit aisément les bruits au moyen du stéthoscope. Nous avons déjà dit quelle est la succession ordinaire des deux bruits qu'on entend alors: le *premier* est *sourd* et coïncide avec le choc du cœur ; le *second*, *plus clair*, arrive un instant après, au moment où tout le cœur est dans le relâchement ; puis il y a un silence, assez long en général par rapport à l'intervalle précédent, et le premier bruit recommence avec la révolution suivante du cœur.

Puisque le premier bruit coïncide avec le choc du ventricule, nous savons déjà que c'est un bruit systolique, et il est facile d'en acquérir la certitude comme on l'a fait pour le choc. Il suffit, en effet, pendant qu'on ausculte le cœur, mis à nu chez un grand mammifère (cheval), de tenir d'une main une oreillette, tandis que, de l'autre, on appuie sur le ventricule : on constate alors que l'oreillette se contracte silencieusement, et que le durcissement du ventricule coïncide avec le premier bruit.

Cette première conviction une fois acquise, il s'agit de chercher *le lieu où les bruits du cœur ont leur maximum d'intensité.* En promenant le stéthoscope sur les différents points du cœur mis à découvert, on reconnaît que le premier bruit s'entend presque également bien sur toute la partie ventriculaire, tandis que le second offre, comme points précis où il atteint sa plus grande force, la base du cœur ou le niveau des origines de l'aorte et de l'artère pulmonaire.

Enfin, il faut déterminer, parmi les actions complexes qui remplissent une révolution du cœur, laquelle donne naissance à chacun des deux bruits.

On peut tout de suite se rendre compte de la *cause du second bruit:* cette cause est la tension brusque des valvules sigmoïdes de l'aorte et de l'artère pulmonaire pendant le relâchement du ventricule, et sous l'effort du sang artériel refoulé par la réaction élastique de l'aorte et de l'artère pulmonaire.

Les preuves abondent à l'appui de cette théorie. En voici quelques-unes qui seront suffisantes pour faire reconnaître toute sa validité:—Si l'on empêche les mouvements valvulaires sur l'un de ces vaisseaux, en le pinçant à sa base, aussitôt on supprime le second bruit en ce point ; si l'on détruit les valvules des deux côtés, on peut complétement éteindre le second bruit. — Ce bruit disparaît encore lorsqu'on excise la pointe du cœur, et que le sang chassé par le ventricule, s'échappant complétement à l'extérieur, ne produit plus le soulèvement des valvules sigmoïdes, qui, par conséquent, n'ont plus à retomber ni à se tendre avec bruit. D'autre part, si l'on ouvre l'aorte et l'artère pulmonaire, de manière que le sang n'ait plus une forte tension dans ces vaisseaux, on supprime la chute brusque de ces valvules, et par suite le second bruit. — En appliquant le doigt sur l'origine de l'aorte ou de l'artère pulmonaire, on peut sentir en ce point, qui est précisément au niveau des valvules, un léger ébranlement qui coïncide avec le second bruit. — Dans leurs expériences, les médecins des comités anglais (1) soulevaient avec

(1) HOPE, *A Treatise on the Diseases of the Heart*, p. 37.

à cheminer dans une direction déterminée, et qui perdent de cette vitesse lorsqu'un obstacle les force à dévier de leur route. — Qu'on suppose un tronc artériel donnant naissance à deux branches qui, parallèles l'une à l'autre, gardent sensiblement la direction du tronc d'origine : si ces deux branches sont d'égal calibre, la vitesse du fluide contenu sera la même, tant que leur direction sera semblable ; mais si l'on dévie l'une d'elles, de manière qu'elle s'écarte de l'autre en formant un angle plus ou moins ouvert, la vitesse diminuera dans la branche déplacée, et sera d'autant moindre qu'on aura plus écarté cette branche de sa direction primitive.

J. Hunter (1) avait reconnu l'influence qu'exerce sur la vitesse du sang l'angle plus ou moins ouvert formé par une branche artérielle avec le tronc principal, et il avait même signalé, à ce point de vue, la remarquable disposition du système artériel. Si l'on compare, dit-il, l'angle presque droit sous lequel les branches se séparent de l'aorte, dans le voisinage du cœur, avec les angles que forment entre elles les bifurcations artérielles plus éloignées, on constate que ces derniers sont presque toujours beaucoup plus aigus. Cette disposition est en parfait accord avec ce que nous verrons à propos de la force d'impulsion du sang, qui décroît à mesure qu'on s'éloigne davantage du cœur : le courant sanguin trouve donc, dans la direction même des vaisseaux nés de l'aorte, un obstacle de moins en moins grand, à mesure que sa force faiblit.

2° L'influence des *variations du diamètre des artères* sur la quantité de sang qui les traverse dans un temps déterminé, a donné lieu à des assertions différentes : quand ces vaisseaux se resserrent, la rapidité du cours du sang augmente d'après les uns, elle diminue suivant les autres. Ces dissidences, à propos d'un fait si facile à constater expérimentalement, tiennent à une interprétation fautive du principe de physique suivant : Lorsqu'un tube, dans lequel coule un liquide, offre des variations de diamètre, c'est dans les points rétrécis que le mouvement est le plus rapide. Mais il n'en résulte point qu'un tube étroit verse plus de liquide qu'un autre plus large que lui. En somme, un rétrécissement est toujours une cause de diminution de la vitesse absolue du liquide qui traverse le tube, c'est-à-dire de la *dépense de l'écoulement ;* il n'augmente que la vitesse relative, les molécules liquides devant se succéder d'autant plus vite qu'il n'en peut passer qu'un plus petit nombre à la fois.

On désigne, en général, sous le nom impropre de *frottements*, les résistances que le sang éprouve dans les vaisseaux plus ou moins resserrés. La physique démontre qu'il n'y a pas de frottement entre les liquides et les parois des conduits qu'ils parcourent : la couche la plus extérieure du liquide est adhérente à la surface interne du tube et reste parfaitement immobile (2). Quant aux couches plus intérieures, elles adhèrent les unes aux autres, mais d'autant moins qu'elles sont plus centrales. Il suit de là que la vitesse des molécules liquides ne sera pas la même pour tous les points d'une même tranche, mais qu'elle aura son maximum au centre du vaisseau.

(1) *Œuvres complètes : Traité du sang et de l'inflammation* (trad. de Richelot, 1840, t. III, p. 236.).

(2) PERROT, *Dissertatio de motu sanguinis in corpore humano*. Dorpat, 1814.—POISEUILLE, *Recherches sur les causes du mouvement du sang dans les capillaires*, p. 15 (*Mémoires des Savants étrangers*, t. VII).

3° La *pesanteur* exerce une influence notable sur le cours du sang dans les artères : tantôt elle le favorise, tantôt elle lui est contraire, suivant qu'elle s'exerce dans le sens du mouvement ou en sens inverse. Cette action, si manifeste pour la circulation veineuse, a été en général trop négligée pour la circulation artérielle, quoiqu'elle ait, dans les deux cas, la même intensité. Mais comme pour le mouvement du sang dans les artères, il existe une force impulsive énergique (l'action du cœur); l'influence de la pesanteur est ici relativement peu importante, tandis qu'elle joue un rôle considérable dans le mouvement du sang veineux.

Les faits ne manquent point pour démontrer l'action de la pesanteur sur la circulation artérielle. Dans les vivisections, par exemple, lorsqu'on ouvre une artère d'un membre, le jet du sang est plus fort si l'on tient la partie dans une position déclive; il faiblit d'une manière sensible, si l'on tient le membre dans l'élévation. Ces effets de la pesanteur sont utilisés tous les jours comme moyen de faciliter ou de diminuer l'afflux du sang dans les parties malades.

III. — Sans cesse poussé dans les artères, le sang éprouve des résistances plus ou moins grandes pour en sortir à travers les capillaires : plus la résistance est grande dans ces petits vaisseaux, plus le sang distend les artères, recevant du retrait élastique de leurs parois une *pression* qu'il est très important de bien connaître pour chaque point du système artériel, puisque cette pression ou *tension* représente la force en vertu de laquelle le sang progresse dans les petits vaisseaux. Devant entrer dans des détails ultérieurs sur ce point, nous nous bornerons à formuler les propositions les plus essentielles à connaître pour le moment.

— A égale difficulté d'écoulement par les capillaires, la tension artérielle est augmentée par des afflux plus considérables du sang poussé par le cœur.

— A égal afflux du sang, la tension croît avec l'obstacle au passage à travers les capillaires.

— Une tension considérable ne s'accompagne pas nécessairement d'une grande rapidité dans le cours du sang. Cette rapidité existe quand la forte tension n'est due qu'à un excès dans l'afflux; il y a, au contraire, lenteur du cours du sang quand la forte tension est due à la difficulté du passage de ce liquide à travers les capillaires.

La circulation, dans les artères, est sous la dépendance de deux propriétés très importantes qui existent dans ces vaisseaux : l'*élasticité* et la *contractilité*. Quoique nous soyons obligé d'étudier séparément chacune de ces propriétés, il faut bien savoir que, dans la circulation, elles jouent simultanément leur rôle et s'associent pour favoriser et régler le cours du sang.

Élasticité des artères.

— On sait que le sang est envoyé par le cœur d'une manière intermittente, chaque contraction du ventricule poussant une ondée, comme le ferait le coup de piston d'une pompe foulante. Si néanmoins on observe au microscope le mouvement du sang dans les capillaires, on constate qu'à l'état normal il est d'une continuité parfaite : le mouvement du sang s'est donc transformé dans son trajet du cœur aux extrémités. Aujourd'hui il est généralement admis que cette *trans-*

formation du mouvement, d'ailleurs très bien connue dans son résultat final, est due à l'*élasticité des artères*.

L'hydraulique avait déjà constaté, depuis longtemps, cet effet remarquable de l'élasticité : dans les pompes à incendie, par exemple, on rend moins saccadé le jet de la machine, en foulant le liquide sous une cloche remplie d'air; la force élastique du gaz ainsi comprimé transforme l'impulsion brève et intermittente du coup de piston en un jet continu.

Les premiers physiologistes qui comprirent bien l'influence de l'élasticité artérielle sur la transformation du mouvement primitif du sang ne manquèrent pas d'établir des comparaisons avec des instruments dont l'action est rendue continue d'une manière analogue : ainsi J. Hunter (1) assimilait cette influence de l'élasticité artérielle à l'effet du ressort dans le double soufflet des forges. D'autres admettaient la comparaison de la pompe à incendie, etc. Ajoutons que la transformation du mouvement du sang s'opère graduellement sur toute la longueur du système artériel, et que l'intermittence, qui existe franchement à l'origine de l'aorte, s'éteint peu à peu à mesure qu'on s'éloigne du cœur.

Ces remarques générales nous suffisent pour le moment; mais il nous faudra revenir sur la précédente transformation, à propos de l'étude du *pouls artériel*, dont les caractères ne seraient point explicables sans une étude préalable du mouvement du sang dans les artères.

— Jusqu'à ces derniers temps, on admettait que l'élasticité des artères ne change rien à leur débit, et que si, le cœur étant en repos, le retrait des vaisseaux continue à pousser le sang vers les capillaires, c'est en vertu d'une *force d'emprunt* (2) qui, n'ajoutant rien à l'action impulsive du cœur, n'a pour effet que de rendre le courant continu.

Combattant cette opinion, Marey (3) a expérimentalement démontré que, dans le cas d'*afflux intermittent* de liquide dans un conduit d'un calibre donné, l'élasticité de ce conduit augmente la quantité du liquide qui peut y pénétrer sous une certaine pression.

Soit un vase de Mariotte V, duquel part un tube muni d'un robinet R, tube qui se bifurque au point T pour se continuer par deux conduits de même calibre, l'un à parois élastiques *bb*, et l'autre à parois rigides *aa*. — Une soupape, placée en S sur le tube élastique, empêche le liquide de refluer du tube *bb*, mais ne fait aucun obstacle à son courant direct. Deux ajutages

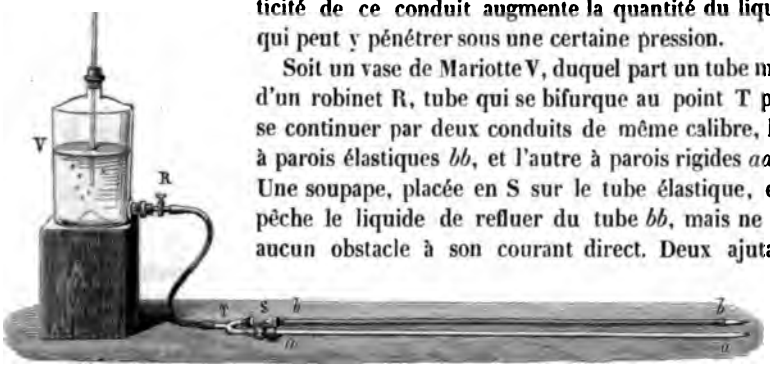


Fig. 15.

d'écoulement de même calibre sont adaptés aux extrémités des deux tubes.

Voici comment on peut, à l'aide de cet appareil, démontrer la proposition formulée plus haut :

(1) *Œuvres complètes : Traité du sang et de l'inflammation*, t. III, p. 199, trad. franç. de Richelot.

(2) P. Bérard, *Cours de physiologie*, t. III, p. 730.

(3) *Annales des sciences naturelles*, 1857, *Zoologie*, t. VIII, p. 330 et suiv.

Lorsqu'on ouvre le robinet R et qu'on laisse l'écoulement s'établir d'une manière continue, le tube rigide et le tube élastique versent la même quantité de liquide. Si, au contraire, on ouvre et ferme alternativement le robinet R, de manière à produire dans les tuyaux un abord intermittent de liquide, l'écoulement a lieu plus abondamment par le tube élastique que par le tube rigide.

La circulation sanguine étant précisément dans les conditions de l'afflux intermittent indiqué dans cette seconde expérience, on conçoit que l'élasticité artérielle soit favorable à l'entrée du sang lancé par le cœur. Cette conclusion a été admise, depuis, par d'autres physiologistes (1).

Quant à l'explication du fait, Marey montre que l'augmentation qui survient dans le débit par les tubes élastiques, quoiqu'il n'y ait pas augmentation de la force d'afflux, tient à une diminution des résistances qu'éprouve le liquide. En effet, les résistances, dites improprement de *frottement*, croissent comme le carré de la vitesse du courant ; aussi seront-elles très grandes dans le cas d'introduction brusque de liquide, si l'écoulement doit être brusque lui-même, comme cela arrive pour les tubes inertes. Au contraire, dans les tubes élastiques, le liquide s'écoule d'une manière lente et sensiblement continue, quoiqu'il entre d'une manière brusque et intermittente ; les résistances seront donc beaucoup moindres, et c'est là ce qui constitue l'action favorable de l'élasticité des artères, au point de vue de la quantité de sang que le cœur pourra envoyer avec une certaine dépense de force.

Ces vues théoriques sont confirmées par la pathologie. — Le ventricule gauche du cœur s'hypertrophie lorsqu'un obstacle s'oppose à l'expulsion de l'ondée sanguine, comme dans le rétrécissement de l'orifice aortique. Il est une affection commune chez les vieillards, qui consiste dans la perte de l'élasticité de l'aorte et des grosses artères, et qui peut aller jusqu'à l'ossification de ces conduits : or, dans ces cas, suivant la théorie précédente, il devait y avoir une résistance plus grande à la systole du ventricule gauche, par suite de la perte d'élasticité de l'aorte, et le cœur devait s'hypertrophier. On savait qu'en effet, l'ossification sénile des artères s'accompagne toujours d'une hypertrophie du ventricule gauche, mais l'explication du phénomène restait à trouver (2).

L'élasticité des artères remplit donc deux importants usages dans le mouvement du sang à travers ces vaisseaux, puisque, d'une part, elle économise au cœur un déploiement de force considérable, et que, de l'autre, elle fournit aux petits vaisseaux un écoulement de sang régulier.

C'est à ce double effet que l'on peut réduire l'action physiologiquement utile de l'élasticité artérielle. Mais, entre ces moments extrêmes où l'ondée, intermittente à son arrivée, est complétement transformée à sa sortie des artères en écoulement uniforme, il se passe une série de phénomènes accessoires qui ont été utilisés dans l'étude des maladies. C'est ainsi que la transformation encore incomplète du mouvement du sang permet d'apprécier, dans les artères volumineuses, le phénomène du *pouls*. La même cause produit aussi des mouvements de locomotion de ces artères qu'on voit se déplacer sous la peau lorsqu'elles sont assez superficielles. Enfin, les changements de volume des artères, les bruits qui se passent dans leur

(1) GIRAUD-TEULON, *Gaz. méd. de Paris*, 1858, n° du 20 mars. — MILNE EDWARDS, *Leçons sur la physiologie et l'anatomie comparée, etc.*, t. IV, p. 176.

(2) Consultez MAREY, *Thèse inaug.* Paris, 1859, p. 18 et suiv.

intérieur, s'ils constituent autant de phénomènes dénués d'utilité fonctionnelle pour l'économie animale, fournissent au contraire des signes importants dans un grand nombre de maladies.

— Chaque abord nouveau du sang dans le système artériel doit nécessairement s'accompagner d'une *dilatation* de tout cet arbre vasculaire; et, dès que le sang du ventricule gauche a pénétré dans l'aorte, comme il s'écoule d'autre part à travers les vaisseaux capillaires, il doit en résulter un *resserrement* de tout le système artériel, jusqu'au moment où arrive une ondée nouvelle. Les physiologistes ont cherché à constater ces *changements de volume des artères;* mais, ne réfléchissant pas d'abord assez à l'énorme capacité de l'ensemble de ces vaisseaux relativement à l'exiguïté de chaque afflux ventriculaire, ils s'étonnaient, en mettant une artère à nu, de ne pas trouver dans ses diamètres de changements appréciables à l'œil, à la loupe (1) ou au compas d'épaisseur (2). Cependant Spallanzani (3) dit avoir constaté ces changements de diamètre au moyen d'un anneau adapté à l'aorte d'une salamandre. Flourens (4) varia cette expérience en employant de très petits anneaux brisés d'acier bien trempé, qu'il adaptait aux artères. — Dans ces expériences, il est à craindre que les anneaux employés n'aient exercé sur le vaisseau une constriction même légère; dans ce cas, ce serait la *pulsation*, comme on le verra plus loin, et non la dilatation proprement dite du vaisseau, qui aurait été perçue.

La démonstration irréfutable de la dilatation des artères a été donnée par Poiseuille (5). L'appareil dont il s'est servi consiste en une sorte de boîte allongée qui, percée d'un trou à chaque extrémité et surmontée d'un tube capillaire gradué, se démonte en deux parties, l'une supérieure, l'autre inférieure. On passe l'une au-dessous de l'artère découverte qu'on veut examiner, et l'on applique l'autre, en manière de couvercle, par-dessus le vaisseau qui, de la sorte, est emprisonné et traverse le petit appareil dans toute sa longueur. Celui-ci étant rempli de liquide et hermétiquement clos, il devient alors facile de constater qu'à chaque systole ventriculaire le liquide s'élève dans le tube capillaire, puis bientôt s'y abaisse, selon que l'artère, en se dilatant ou en se rétrécissant, chasse du réservoir une certaine quantité d'eau ou la laisse rentrer. L'augmentation de diamètre de l'artère est calculée d'après le degré d'ascension.

On conçoit aisément qu'à l'aide de ce moyen, on soit parvenu à rendre sensible une dilatation qui, imperceptible sur un point limité du vaisseau, devait, en agissant sur une plus grande surface, pouvoir déplacer une quantité notable de liquide.

Quant à déterminer la quantité dont une artère se dilate à chaque systole du cœur, les résultats contradictoires obtenus par différents observateurs nous empêchent d'attacher à ces déterminations une valeur quelconque; ajoutons que d'ailleurs des évaluations de cette nature, fussent-elles exactes, resteraient encore sans applications bien importantes.

— Il a été constaté expérimentalement que les vaisseaux artériels sont beau-

(1) JOHN DAVIES, *The London Medical Repository and Review*, vol. XXIX, p. 389.
(2) LAMURE, *Recherches sur les pulsations artérielles*. Montpellier, 1769. — ARTHAUD, *Dissertation sur la pulsation des artères*. Paris, 1771.
(3) *Expériences sur la circulation*, trad. franç. par Tourdes, p. 146.
(4) *Annales des sc. nat.*, 1837, t. VII, p. 106.
(5) *Recherches sur l'action des artères dans la circulation artérielle* (*Journ. de physiol.* de MAGENDIE, 1829, t. IX, p. 46, pl. I, fig. 1).

coup plus élastiques dans le sens de leur longueur que suivant leur diamètre transverse. C'est donc surtout dans le premier sens qu'aura lieu, à chaque afflux nouveau du sang, l'augmentation de capacité des artères. Comme, de plus, les artères offrent quelquefois des troncs d'une étendue considérable, l'extension de leurs parois, dans le sens de l'axe, portant sur une grande longueur, l'allongement pourra devenir apparent à l'œil nu, tandis qu'il semblera ne point exister d'augmentation dans le sens transversal de ces vaisseaux.

La quantité dont une artère s'allonge dépend évidemment de la force avec laquelle son élasticité est sollicitée dans le sens longitudinal. Ainsi, quand un vaisseau est perméable dans toute son étendue, le sang, le traversant avec facilité, n'exerce pas de traction suivant la longueur, tandis que si un obstacle arrête le courant, l'allongement devient aussitôt très prononcé. C'est ce qui arrive lorsqu'on pose une ligature sur les artères au moignon d'un membre amputé : le tronçon fermé du vaisseau fait obstacle à la colonne sanguine, et, à chaque systole du cœur, il est poussé en avant ; aussi le voit-on sortir des tissus environnants en faisant une saillie très appréciable.

L'oblitération complète d'une artère n'est pas indispensable pour que l'allongement se produise : un obstacle partiel à la progression du sang suffit pour déterminer un allongement bien visible. Ainsi, quand il y a bifurcation d'un tronc artériel, l'éperon qui sépare les deux branches est poussé en avant au moment de l'arrivée du sang et revient ensuite à sa position primitive. On a vu, plus haut, comment les changements de direction du cours du sang sont une cause de perte de force vive pour ce liquide ; c'est ce qui a lieu au niveau des bifurcations artérielles. Dans ce cas, la force perdue pour le courant est employée à produire le mouvement de l'éperon et l'allongement du vaisseau.

Quand un tronçon artériel est fixé à ses deux extrémités, il ne s'en allonge pas moins sous l'influence des ondées intermittentes du sang. Mais alors le phénomène se traduit par des mouvements de latéralité du vaisseau ; c'est ce qu'on connaît sous le nom de *locomotion artérielle par inflexion latérale*. Il est évident que le vaisseau, placé en ligne droite entre deux points fixes, deviendra, au moment de l'afflux du sang, trop long pour conserver sa situation rectiligne, et il s'y formera des inflexions qui disparaîtront dans l'intervalle des afflux. Si, au contraire, le vaisseau offre naturellement des courbures, un autre phénomène se produira : ce sera sinon le *redressement* de ces courbures, comme on le dit généralement, du moins l'augmentation de leurs rayons. Les coudes brusques du vaisseau seront alors remplacés par des contours plus arrondis. Il arrive là ce qui se passe dans le manomètre de Bourdon, dont le tube contourné se déroule légèrement lorsque la pression intérieure augmente.

En résumé, chaque nouvelle arrivée de sang dans le système artériel s'accompagne d'une augmentation de la capacité de ces premières voies sanguines ; augmentation qui s'efface par l'effet de l'écoulement du sang pendant le repos du cœur. La dilatation du système artériel se traduit, soit par l'*élargissement* de ses vaisseaux qui est presque nul et insensible à l'œil, soit par l'*allongement*, qui a deux effets distincts, suivant les conditions dans lesquelles se trouve l'artère : il y a une *locomotion dans le sens de l'axe*, si le cours du sang éprouve un obstacle et si le vaisseau peut se déplacer ; dans le cas contraire, apparaissent des inflexions latérales dont la tendance est d'atteindre le plus grand rayon possible.

Il serait inutile d'insister davantage sur ces phénomènes, auxquels les anciens observateurs avaient attaché une grande importance, croyant à tort que les changements de volume des artères étaient la cause immédiate du *pouls*. Nous verrons qu'ils en sont entièrement distincts.

I. — Le premier point nécessaire pour se faire une idée de la nature du *pouls*, est de bien connaître la *transmission de l'impulsion du cœur dans toute la longueur de l'arbre artériel*. Il est une donnée sur laquelle les divers auteurs qui ont cherché à élucider cette question par la voie expérimentale sont généralement d'accord : c'est que le mouvement se transmet de proche en proche, chaque couche poussant celle qui la suit. L'impulsion marche ainsi très vite, sans que le liquide lui-même participe à cette vitesse ; de telle sorte que, lorsqu'une systole du cœur se traduit par un battement de l'artère radiale, il n'y a pas, à ce moment, dans le vaisseau observé, une seule goutte de sang lancé par la dernière systole, mais il n'y a que le mouvement de ce sang transmis par continuité de liquide.

Dans les conduits rigides ou inertes, toute la colonne du liquide se meut d'une seule pièce, pour ainsi dire, et en chaque point du tube il passe, dans un même temps, une même quantité de ce liquide. Dans les artères, qui sont élastiques, il en est autrement. Immédiatement après que les valvules sigmoïdes se sont abaissées, le sang qui repose sur elles est parfaitement immobile jusqu'à ce qu'une systole nouvelle vienne le déplacer ; à l'autre bout du système artériel, au contraire, au lieu d'intermittence dans le mouvement, il y a continuité et régularité parfaites : de sorte que, dans un petit vaisseau, il passe du sang dans le temps même où ce liquide est immobile à l'origine de l'aorte.

Les opinions des auteurs ne sont pas unanimes sur la manière dont ce mouvement se transporte en changeant de nature. E. H. Weber (1) et Marey (2), qui, dans ces derniers temps, se sont le plus occupés de ce sujet, admettent des théories différentes.

Selon Weber, il se forme une *vague* qui, partant du cœur, se porte vers la périphérie du corps et se fractionne pour pénétrer dans chacune des artères. Cette ondée voyage dans une direction centrifuge, jusqu'à ce qu'elle s'éteigne. La théorie de Weber a pour base ce fait, que le pouls apparaît plus tard dans les artères éloignées du cœur que dans celles qui avoisinent cet organe. Ce retard serait dû, d'après le physiologiste allemand, au temps que la vague a mis à franchir cette distance. Enfin, dit Weber, la vague dont il s'agit n'est pas une quantité de liquide cheminant dans tout ce parcours, elle représente seulement une forme que prend successivement chaque point du liquide. Tel est le cas où une pierre jetée dans l'eau produit des ondes qui s'étendent à une grande distance, sans que l'eau touchée par la pierre prenne part à ce mouvement : « *Unda non est materia progrediens, sed forma materiæ progrediens.* »

Les choses ne se passent pas ainsi, d'après Marey (2), qui s'applique à réfuter, à l'aide d'expériences, la principale base de la théorie de Weber, c'est-à-dire le retard constant du pouls dans les artères éloignées du cœur.

Si l'on suppose le système artériel représenté par un seul conduit (fig. 16) par-

(1) *De pulsu, resorptione, auditu et tactu* (*Annot. anat. et physiol.*, Lipsiæ, 1833).
(2) *Du pouls et des bruits vasculaires* (*Journ. de physiol. de l'homme et des animaux*, 1859, t. II, p. 268).

tagé en une série de tronçons successifs, *abcd*, de l'orifice d'entrée à l'orifice de sortie, il est facile de comprendre comment se produit la répartition du liquide

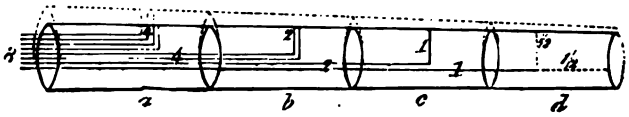


Fig. 16.

au moment de l'afflux. Lorsque l'ondée arrive dans le tronçon *a*, elle éprouverait, pour y pénétrer, une grande résistance, si elle devait déplacer immédiatement tout le sang contenu dans l'arbre artériel ; mais l'élasticité de l'aorte lui fournit le moyen de se loger en partie dans ce premier tronçon, et de ne déplacer, par conséquent, qu'une partie du sang qu'il contenait. Lors donc que, sous l'influence d'un afflux de sang dans un tronçon aortique, il y a allongement et dilatation de celui-ci, il est évident que la force d'afflux a été décomposée en deux parties, dont l'une, entièrement employée à la dilatation du vaisseau, ne servira que plus tard à la propulsion du sang. Dès lors, la force directe, c'est-à-dire celle qui s'exerce suivant l'axe du vaisseau, se trouve réduite d'une quantité qui est à la force totale de l'afflux ce que le volume du sang logé dans la dilatation du premier tronçon est au volume total de l'ondée. — On peut supposer au tronçon *a* une longueur telle qu'il loge ainsi la moitié de l'ondée cardiaque; alors, dans le tronçon suivant *b*, il n'y aura plus pour l'afflux direct que la moitié de la force initiale. — En supposant qu'il se passe la même chose dans cette partie du système artériel que dans la précédente, il n'arrivera plus au tronçon *c* qu'une partie de la force initiale égale à un quart, et ainsi de suite de proche en proche.

Dans cette division dichotomique de la force d'afflux, il y a transmission simultanée pour tout ce qui est force directe, et les parties reculées de l'arbre circulatoire reçoivent de la systole un effet de moins en moins intense, mais toujours synchrone avec cette systole elle-même.

Au moment de l'arrivée de l'ondée, dont nous supposons ici la durée très courte, l'appareil circulatoire est plus dilaté du côté du cœur que du côté des capillaires, comme cela arrive pour le tube qui est représenté dans la figure 16, et qui prend la forme d'un tronc de cône dont la base est tournée du côté de l'orifice d'entrée. — Dans l'instant qui suit l'afflux, les choses se passent différemment. Les portions initiales du système vasculaire se vident dans le reste de l'arbre artériel, et les vaisseaux éloignés, peu distendus par le sang au premier instant, se dilatent graduellement par l'effet du retrait des portions initiales qui, dès le début, avaient reçu tout le sang qu'elles pouvaient loger. L'arbre artériel reprend donc graduellement sa forme par l'effet de cette nouvelle répartition du liquide. Dans la précédente figure, le tube revient à la forme cylindrique par le resserrement des parties initiales et la dilatation concomitante des parties terminales.

Il faut remarquer ici que les vaisseaux éloignés ont reçu l'impulsion cardiaque sous forme d'un mouvement qui, faible au début, a grandi avec les caractères du *mouvement accéléré ;* tandis que, pendant ce temps, les vaisseaux très rapprochés du cœur ont reçu, dès le début, leur maximum de mouvement, qu'ils ont cédé ensuite graduellement au reste du système artériel.

Dans certains cas, la transmission du mouvement se fait dans des conditions différentes et plus complexes. En effet, cette répartition du mouvement qui serait nécessairement la seule possible pour un fluide impondérable, reçoit une importante perturbation quand c'est un liquide pesant qui est projeté avec force dans un tube élastique. Alors l'ondée peut prendre une vitesse en vertu de laquelle elle fuit les régions initiales de l'aorte, laissant derrière elle une diminution assez grande de la tension, une sorte de tendance au vide. Dans les conduits élastiques, cet effet est rendu apparent par l'affaissement du tube qui se produit aussitôt que l'ondée a pénétré avec une grande rapidité. Lorsque le liquide trouve un obstacle dans les points éloignés du tube, il reflue de nouveau vers les parties initiales, et le vide se trouve ainsi comblé. C'est dans ce cas seulement qu'il serait presque légitime de comparer à une vague le mouvement du sang artériel, et que la théorie de Weber se rapprocherait de la vérité (1). On verra, à propos du *pouls dicrote*, quel rôle important joue, dans la production de ce caractère du pouls, la vitesse acquise de l'ondée ventriculaire.

Cette théorie de la *transmission des mouvements du sang* n'est pas une vue *a priori;* elle repose sur des expériences faites au moyen d'appareils que nous aurons bientôt à décrire : les *hémomètres* et les *sphygmographes.*

II. — La science possède, depuis longtemps, le moyen de savoir quelle est, dans les conduits qui sont le siége d'écoulement, la force d'afflux pour chaque point de leur longueur, et quelle est aussi la quantité de cette force qui a été consommée par les résistances dites de frottement.

Bernouilli a donné la formule simple qui préside à la répartition de la pression dans un conduit également calibré, l'écoulement ayant lieu sous une charge constante.

Soit un réservoir R plein de liquide jusqu'à un certain niveau *a*, et du fond duquel part un conduit d'un calibre uniforme. Les tubes 1, 2, 3, 4, 5, 6, bran-

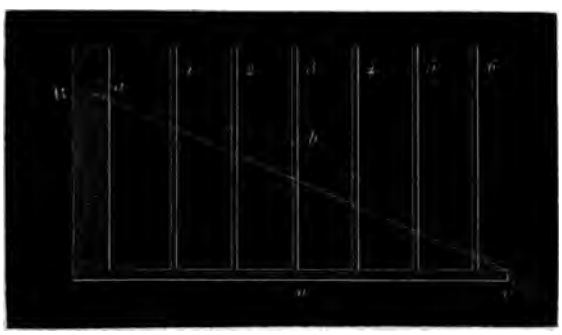


Fig. 17.

chés sur ce conduit, et qu'on désigne sous le nom de *piézomètres* (*), auront tous leur niveau sur une ligne droite obliquement descendante de *a* en *c*, c'est-à-dire du niveau du réservoir à l'orifice d'écoulement. — La hauteur à laquelle s'élève

(1) Marey, *Thèse inaug.* Paris, 1859, p. 33.

(*) De πιέζειν, comprimer, et μέτρον, mesure (appareil à mesurer la pression des liquides).

le liquide d'un piézomètre, branché en un point du tube, indique sensiblement l'intensité de la force d'afflux en ce point; et, comme elle décroît de l'orifice d'entrée à celui de sortie, on en doit conclure que la force d'écoulement du liquide décroît elle-même. — Il est démontré que les résistances qu'éprouvent les liquides dans les conduits d'un calibre uniforme, sont proportionnelles aux longueurs de ceux-ci. Il s'ensuit donc que, dans le cas où l'écoulement est établi dans le tube, plus un point de ce tube sera éloigné de l'entrée, plus le liquide qui le traverse aura perdu de sa force initiale par suite des résistances. Cette réduction de force se traduit par l'abaissement de la colonne piézométrique au-dessous du niveau du réservoir.

Il est également prouvé qu'à égale longueur, les conduits opposent au liquide une résistance d'autant plus grande que leur calibre est plus étroit. Supposons donc que, dans la figure précédente, le diamètre du tube soit plus étroit à partir du point *o* jusqu'à l'orifice d'écoulement *c*. Dans ces conditions, la ligne des niveaux piézométriques ne sera plus une droite, mais une ligne brisée *abc*. Les parties larges offrant très peu de frottements, amèneront peu de diminution dans les niveaux piézométriques qui se tiendront sur la ligne *ab*; ils décroîtront au contraire très vite dans les points rétrécis, comme l'indique, dans la figure, la ligne *bc*, qui est très inclinée.

Dans les tubes auxquels on a adapté un piézomètre, le niveau de celui-ci n'indique pas la vitesse réelle, puisqu'elle se trouve, la même pour toutes les tranches du liquide contenu dans le tube et dont le mouvement est solidaire; mais ce niveau est élevé proportionnellement à la vitesse qu'aurait le liquide, si les résistances à vaincre au-dessous du piézomètre étaient supprimées, comme dans le cas d'un orifice pratiqué dans les parois du conduit. Un tel orifice laisserait échapper le liquide d'un jet d'autant plus fort que le piézomètre accuserait plus de hauteur au point correspondant.

Le *piézomètre* de Bernouilli est identique dans son mode d'action avec ce qu'on appelle aujourd'hui le *manomètre*. Les instruments de ce genre ont pour usage, dans l'industrie, d'évaluer les pressions des liquides ou les tensions des gaz. Hales (1) fut le premier qui tenta d'introduire l'usage de cet instrument en physiologie. Nous avons vu déjà que son but était d'évaluer la force du cœur qu'il croyait obtenir en multipliant la pression d'une artère quelconque par la surface interne du ventricule gauche.

Hales n'a pas atteint ce but, mais il a démontré plusieurs faits importants, relatifs à la *tension du sang dans les artères :* il a vu, par exemple, que cette tension diminue beaucoup, si, au moyen de saignées, on enlève à l'animal une masse de sang assez considérable.

Poiseuille a introduit dans l'expérimentation physiologique un manomètre à colonne de mercure, instrument plus commode à manier et que tout le monde connaît. Cet investigateur eut le premier l'idée de rechercher, à l'aide du manomètre, ce que devient la *tension dans les différents points du système artériel*, à mesure qu'on s'éloigne du cœur, et, pour simplifier la question que compliquait par trop l'oscillation de la colonne mercurielle, il se borna à indiquer l'état de ce qu'il appelle la *tension moyenne* dans tout l'arbre artériel. Cette moyenne, il la

(1) *Hæmastatique*, trad. par Sauvages. Genève, 1744, in-4.

considérait comme exprimée par la demi-somme des colonnes maxima et minima du manomètre, ou, si l'on aime mieux, par la partie moyenne du parcours d'une oscillation.

En opérant dans ces conditions sur un grand nombre de mammifères, Poiseuille (1) crut trouver que la moyenne de tension qu'il obtenait était toujours la même, quel que fût le point des voies artérielles où il appliquait son manomètre : ainsi, la carotide et les artères du métatarse avaient la même tension moyenne.

Un tel fait semble, *à priori*, incompatible avec les lois physiques qui reconnaissent que, dans tout écoulement, l'effet des résistances diminue la pression du liquide à mesure qu'on s'éloigne de l'orifice d'entrée des conduits. On verra bientôt comment il a été démontré que Poiseuille s'était mépris, et comment la quantité qu'il considérait comme la pression moyenne du sang est en réalité fort éloignée de la moyenne véritable.

Le manomètre à colonne de mercure a subi encore d'autres modifications. Ainsi Magendie (2) a employé, sous le nom d'*hémomètre*, un instrument composé d'un réservoir à mercure sur lequel s'exerce la pression sanguine, et qui communique avec un tube dans lequel s'élève le métal. La hauteur du niveau du mercure dans ce tube unique exprime l'intensité de la pression.

En Allemagne, les physiologistes se préoccupèrent d'une cause d'erreur qui existe dans l'application de tous les instruments de ce genre, c'est-à-dire de l'oblitération du vaisseau dont on recherche la tension. En effet, lorsqu'on applique à une artère le manomètre de Poiseuille ou l'hémomètre de Magendie, on fait une section du vaisseau perpendiculairement à son axe, et l'on enfonce le bec de l'instrument dans celui des deux bouts (*central* ou *périphérique*) dont on veut étudier la pression, tandis que l'autre bout est fermé par une ligature. Il y a donc arrêt complet du courant sanguin dans l'artère qu'on examine. Mais on peut réussir à adapter un manomètre sur une artère sans y interrompre le cours du sang. L'appareil le plus simple, qui remplisse ce but, est celui de Volkmann (3) : c'est un tube métallique en T qui s'introduit par les deux extrémités de sa branche principale dans les deux bouts de l'artère divisée, tandis que la branche perpendiculaire reçoit le manomètre.

Quand on fait usage de semblables instruments, il faut toujours prendre le soin d'empêcher la coagulation du sang, en introduisant une solution alcaline dans les points de l'appareil où le sang doit pénétrer.

Enfin Cl. Bernard (4) essaya d'évaluer la tension comparative de deux artères différentes au moyen d'un *manomètre* qu'il nomme *différentiel*, et qui est formé, comme celui de Poiseuille, d'un tube en U contenant du mercure. Seulement, les deux branches sont égales et mises en rapport chacune avec une artère différente. Dès lors celui des vaisseaux qui aura la pression la plus forte devra pousser la colonne mercurielle dans la branche opposée.

Aucun de ces instruments ne saurait donner une mesure numériquement exacte de la pression sanguine, parce que, comme le fait observer Marey (5), les

(1) *Recherches sur la force du cœur aortique*, thèse inaug. Paris, 1828, p. 37.
(2) *Gazette médicale de Paris*, 1850, p. 93.
(3) *Die Hämodynamik nach Versuchen*, etc. Leipzig, 1850, p. 146.
(4) *Leçons sur la physiologie et la pathologie du système nerveux*, 1858, t. I, p. 282, fig. 42.
(5) *Comptes rendus de la Société de biologie* (*Journ. le Progrès*, 1859, n° 21, p. 579).

colonnes mercurielles, dans leurs oscillations, prennent une vitesse acquise qui leur fait dépasser les points qui exprimeraient exactement le *maximum* et le *minimum* de la pression sanguine. Quant à la mesure de la tension moyenne, elle est encore moins exacte, si on l'évalue, comme le fait Poiseuille, en prenant la demi-somme des colonnes de mercure maximum et minimum. Car la moyenne que l'on doit chercher dépend non-seulement de la hauteur de ces colonnes, mais aussi des durées relatives de leurs périodes d'ascension et de descente. Aucun des instruments précédemment cités ne donne ces indications.

Pour terminer ce qui concerne ces *instruments à indications intermittentes*, il nous reste à mentionner rapidement les résultats comparatifs obtenus par les différents auteurs. — Poiseuille, avons-nous dit, a trouvé que la demi-somme des colonnes de mercure est la même dans toutes les artères. — Volkmann (1) a constaté, dans des expériences semblables, que cette quantité diminue à mesure qu'on s'éloigne du cœur. — Spengler (2) l'a vue augmenter au contraire dans les artères éloignées. — Cl. Bernard a cru pouvoir, avec son manomètre différentiel, trancher la question, et prouver que, si les artères rapprochées du cœur refoulent la colonne mercurielle dans la branche qui est mise en rapport avec une artère éloignée, c'est que la tension moyenne est plus forte pour elles. De cette expérience on ne peut rigoureusement conclure que ce fait, sur lequel d'ailleurs tout le monde est d'accord, à savoir, que les *maxima* de tension qui arrivent à chaque systole du cœur sont plus forts dans les artères très voisines de cet organe.

Dans ces dernières années, l'étude de la *tension artérielle* entra dans une phase nouvelle, grâce à l'emploi que fit C. Ludwig (3) des *appareils à indications continues*, pour mesurer les variations que cette tension subit sous l'influence d'une foule de conditions.

Fig. 18.

L'instrument dont il se servit, le *kymographion* (*), est construit de la manière suivante. Un manomètre, semblable à celui de Poiseuille, est mis en communication avec une artère au moyen de l'ajutage *gec*. Lorsque l'appareil n'est pas en expérience, le mercure occupe dans le tube en U les niveaux *b*, *a*. Aussitôt que la pression du sang agit sur le mercure, les niveaux des deux colonnes passent en *b' a'*. La colonne de mercure, située dans la grande branche porte un flotteur et une tige à l'extrémité de laquelle est un pinceau *p* qui est soulevé à chaque augmentation de la tension artérielle, et redescend quand la tension baisse. Ce pinceau trace sur un cylindre qui tourne autour de l'axe vertical *ss* des courbes représentées sur la ligne *m* et correspondantes aux oscillations du manomètre.

(1) *Ouvr. cit.*, p. 167.

(2) *Ueber die Stärke des arteriellen Blutstromes* (MÜLLER'S *Arch. für Anat. und Physiol.*, 1844, p. 52 et suiv.).

(3) *Beiträge zur Kenntniss des Einflusses der Respirations-Bewegungen auf den Blutlauf* (MÜLLER'S *Archiv für Anat. und Physiol.*, 1847, p. 243, pl. X.

(*) De κῦμα, flot, onde, et γράφειν, tracer. — Ce nom de *kymographion* a été donné par VOLKMANN à un manomètre enregistreur inventé par C. LUDWIG.

tension est forte dans l'artère, plus le niveau général des courbes tracées st élevé au-dessus du zéro de l'instrument, c'est-à-dire au-dessus du qu'occupe le pinceau lorsque l'appareil est au repos.

les tracés obtenus par C. Ludwig, et dont nous reproduisons un spé- ig. 19), on remarque que chaque pulsation se traduit par une courbe dont

FIG. 19.

on et la descente forment les deux moitiés. L'intensité de la pulsation, c'est- mplitude de l'oscillation du manomètre, se compte sur la ligne des *ordon-* ne verticale); la fréquence des pulsations se mesure sur la ligne des *ab-* igne horizontale), et peut facilement être transformée en sa valeur pour une lorsqu'on connaît la vitesse avec laquelle tourne le cylindre. La ligne ble *ab*, exprimant le niveau général des pulsations, offre elle-même des ons qui sont dues à l'influence qu'exerce la respiration sur la tension . Il sera question plus loin de cette influence.

obtenir la valeur de la *tension moyenne* dans une artère à l'aide de l'instru- C. Ludwig, Volkmann (1) s'est servi du procédé qu'on emploie, en mé- ie, quand on veut prendre la moyenne du tracé d'un instrument à indica- ntinues : on rogne les bords du papier de manière qu'ils se trouvent nent à égale distance du tracé du côté des maxima comme du côté des mi- nis on le découpe en suivant toutes les sinuosités de la courbe. Si l'on s les deux moitiés du papier, le rapport du poids de l'une à celui de l'au- nera la moyenne cherchée. Il est aisé de comprendre que si, pour des maxima et minima semblables, le mercure reste plus longtemps dans ge d'un de ces points extrêmes, la quantité de papier ne sera plus la chaque côté de la courbe, et la moyenne obtenue différera sensiblement que l'on aurait en divisant le papier par une ligne qui passerait toujours listance des maxima et des minima ; ce qui correspondrait au procédé de ition de Poiseuille.

oyennes, prises sur des artères situées à différentes distances du cœur, ont vées par Volkmann de plus en plus petites à mesure qu'on s'éloigne du insi, chez un chien, la tension moyenne, prise dans la carotide, était de limètres de mercure; tandis que, pour la fémorale, on ne trouvait que limètres. Sur un veau, la carotide donna 116 millimètres, et l'artère méta- e, 87 (*).

ne le *kymographion* est un instrument très volumineux, et comme d'ail- oscillations étendues d'une colonne mercurielle s'accompagnent nécessai-

vr. cit., p. 170 et suiv.

vr. cit., p. 167.

rement de vitesses acquises qui introduisent des causes d'erreur dans les résultats, Marey a cherché à obtenir l'indication de la tension moyenne à l'aide d'un autre instrument qu'il appelle *manomètre compensateur* (1).

Qu'on se figure un manomètre de Magendie portant deux colonnes mercurielles : l'une d'elles oscille comme dans l'instrument ordinaire ; mais l'autre, ne communiquant avec le réservoir à mercure que par un tube capillaire très fin, n'offre que des vestiges d'oscillations, et lorsque l'instrument est en expérience, cette colonne s'élève par petites saccades successives jusqu'au point qui indique la moyenne de tension. Ce point indiqué par le manomètre compensateur est d'autant plus près du maximum ou du minimum signalés par la colonne oscillante, que la tension artérielle est pendant plus longtemps à son maximum ou à son minimum d'intensité.

En expérimentant, avec cet instrument, sur des tubes élastiques dans lesquels on envoie des ondées intermittentes de liquide pour imiter les conditions de la circulation sanguine, on voit que la moyenne de tension va toujours en décroissant, à mesure qu'on la cherche plus loin de l'orifice d'entrée du tube. Quant aux variations qu'on produit, soit dans l'intensité de l'afflux, soit dans la facilité de l'écoulement, elles font varier la tension moyenne suivant les lois mêmes formulées par Bernouilli pour les cas d'écoulement constant.

Tous ces mouvements des colonnes manométriques sous l'influence des changements de tension que produit chaque contraction du cœur sont des manifestations de même nature que le phénomène désigné sous le nom de *pouls artériel*. L'importance du pouls, dans la pratique médicale, nous oblige à rapporter avec quelques détails les études entreprises sur les changements rhythmiques que les systoles du cœur produisent dans la tension artérielle. On entrevoit, d'après ce qui précède, que le pouls plus ou moins fréquent et fort, perçu en palpant l'artère radiale, se traduirait, si un manomètre était adapté à ce vaisseau, par des oscillations de fréquence et d'amplitude proportionnelles.

Parmi ceux qui voudraient faire remonter à Hippocrate toutes les connaissances en physiologie comme en pathologie, plusieurs croient reconnaître dans le σφυγμός du père de la médecine, ce que nous appelons le *pouls* des artères. Il est à peu près démontré que, sous ce nom, on confondait alors une foule de phénomènes différents, parmi lesquels étaient compris les soubresauts des tendons et les palpitations des muscles. Rufus d'Éphèse (2) passe pour être le premier observateur qui ait bien explicitement attribué le pouls à la contraction cardiaque.

Ce n'était pas assez d'avoir prouvé que le pouls est dû à l'afflux du sang artériel, il fallait rechercher en outre de quelle manière il est produit : s'il résulte de l'allongement de l'artère, comme le croyaient Arthaud (3), Parry (4), etc. ; de sa dilatation, comme l'admettaient Haller (5), Spallanzani (6), Hastings (7), etc. ; ou

(1) *Du pouls et des bruits vasculaires* (*Rec. cit.*, p. 273 et suiv., fig. 4). — *Recherches hydrauliques sur la circulation du sang* (*Annales des sciences naturelles*, Zoologie, 1858, p. 355 et suiv.).

(2) Σύνοψις περὶ σφυγμῶν, trad. de Daremberg. Paris, 1846.

(3) *Dissert. sur la dilatation des artères*. Paris, 1771.

(4) *Inquiry into the Nature of the Arterial Pulse*. London, 1816.

(5) *Elementa physiologiæ*, t. II, p. 238.

(6) *Expér. sur la circulation*, p. 395.

(7) *De vi contractili vasorum*, in-8. Édimbourg, 1818.

bien s'il est un effet complexe de ces causes réunies, opinion soutenue par Weitbrecht (1), par Lamure (2), et aussi par Bichat (3). Nous n'insisterons pas ici sur un historique qui ne serait propre qu'à faire ressortir les progrès de la physiologie dans les temps modernes. La pulsation artérielle correspond bien certainement à tous les phénomènes qui ont été décrits plus haut; elle est, comme eux, une conséquence des mouvements rhythmiques du liquide sanguin, mais elle n'est constituée par aucune des causes précédentes.

Pouls artériel.

Le *pouls* est un choc perçu par le toucher à chaque augmentation de la tension artérielle par les afflux successifs du sang que lance le cœur.

Pour percevoir ce choc, il faut déprimer le vaisseau sous le doigt de manière à lui faire perdre sa forme cylindrique, grâce à laquelle chaque point résiste également à la tension intérieure. Cette déformation du vaisseau est une condition tellement indispensable, que, dans les opérations chirurgicales, on peut souvent avoir sous le doigt une artère sans en percevoir les battements : cela arrive lorsque le vaisseau, situé au milieu des parties molles, fuit sous le doigt sans pouvoir être arrêté par un plan résistant. Si l'artère radiale a été surtout choisie comme propre à la recherche du pouls, c'est qu'elle est facile à comprimer contre la face antérieure du radius.

Comme le soulèvement du doigt par le pouls est dû au changement qui s'opère dans la tension artérielle, la sensation de soulèvement offrira des variétés nombreuses suivant la nature du changement qui aura lieu dans cette tension à chaque contraction du cœur. Ce changement peut être lent ou rapide, de telle sorte que le soulèvement du doigt aura une durée variable, depuis le durcissement lent et graduel de l'artère jusqu'au choc brusque et violent.

L'ancienne médecine possédait une riche nomenclature des formes du pouls : les noms de pouls *vite* ou *lent*, *dur* ou *mou*, *dicrote*, *filiforme*, etc., exprimaient des variétés assez tranchées que l'on observe dans les maladies ; mais l'étude de ces caracteres était presque tombée en désuétude et ces désignations presque oubliées, par suite de la difficulté de s'entendre sur leur valeur mal définie. La physiologie moderne a trouvé le moyen de rendre saisissables ces différents caractères, en les traduisant par un tracé graphique dont le type change avec l'état circulatoire du sujet observé. — C'est à Vierordt (4) qu'on doit la première idée d'un instrument qui, représentant la forme du pouls, puisse s'appliquer à l'homme : jusque-là l'emploi de tous les appareils exigeait une vivisection préalable.

Chacun avait vu, sans y attacher d'importance, les mouvements que les pulsations de l'artère poplitée produisent à l'extrémité de l'une des jambes, lorsqu'on tient celle-ci croisée sur l'autre. King (5) avait eu l'idée, pour étudier le pouls veineux, d'employer un levier très léger qui serait soulevé par chaque dilatation du vaisseau, et dont le grand bras oscillerait à chaque battement en exagérant son

(1) *Comment. Acad. Petropol.*, 1724 et 1735, vol. VII, p. 316.
(2) *Recherches sur la cause de la pulsation des artères.* Montpellier, 1769.
(3) *Anatomie générale*, 1801, t. I, p. 338.
(4) *Die Lehre vom Arterienpuls.*, p. 21. Braunschweig, 1855.
(5) King, *An Essay on the Safety-valve. Function of the right Ventricle of the Human Heart* (Guy's *Hospital Reports*, 1837, t. II, p. 107 et suiv.).

amplitude. Vierordt pensa à utiliser un mouvement de ce genre pour obtenir des tracés du pouls : en conséquence, il construisit un instrument dans lequel un levier, mis en mouvement par les battements artériels, va tracer, sur un cylindre tournant, des courbes dont chacune correspond à une pulsation de l'artère. Cet instrument a reçu le nom de *sphygmographe* (*).

Sur un double support, représenté dans la figure 20 par des lignes ponctuées, sont adaptés deux leviers de longueur inégale, *ab* et *fg*. Ces leviers sont articulés,

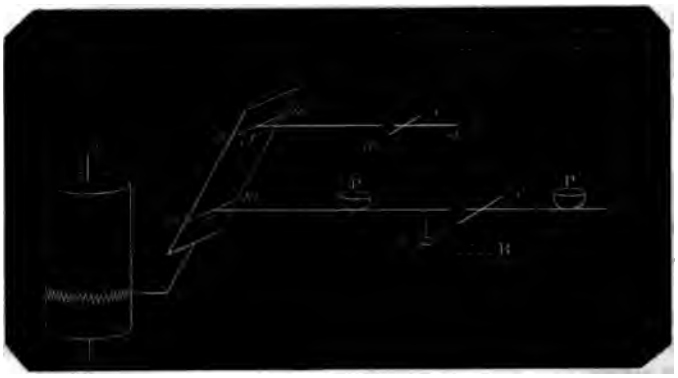


Fig. 20.

d'une part, avec leurs supports au moyen des axes *hi* et *ec*, d'autre part avec un cadre métallique par l'intermédiaire des axes *nn* et *mm*.

Ces articulations ont pour effet de corriger l'arc de cercle que décrirait un levier simple, et agissent en cela comme une sorte de parallélogramme de Watt. En effet, la tige *o*, qui se détache inférieurement du cadre métallique et porte un pinceau, oscille toujours verticalement dans les mouvements d'élévation et de descente des leviers. Un cylindre, tournant autour de l'axe *ss*, reçoit la trace des mouvements du pinceau comme dans le kymographion.

La disposition destinée à rendre bien verticales l'ascension et la descente du pinceau donne à l'ensemble des leviers un poids considérable que Vierordt équilibre au moyen d'une cupule P′ dans laquelle il place un contre-poids convenable. L'appareil étant équilibré, on place l'avant-bras au-dessous de lui, de façon que la petite plaque *p*, qui supporte une tige verticale dépendante du levier et située près du centre de mouvement, repose sur l'artère radiale dont la position est figurée par les lignes R ponctuées. Lors de chaque pulsation du vaisseau, l'instrument se comportera comme un levier interpuissant dont le grand bras décrira des mouvements amplifiés par sa longueur même.

Nous reproduisons ici, fig. 21, un des tracés que donne l'instrument de Vierordt : avec cette figure, on peut, connaissant la rapidité avec laquelle le cylindre tourne, calculer facilement le nombre des pulsations pour une minute.

Le pouls, dont on voit le spécimen, est parfaitement régulier. Mais, dans le cas où il y a des intermittences dans les battements du cœur, l'instrument les accuse par des intervalles plus ou moins grands entre deux pulsations consécutives. Lors-

(*) De σφυγμὸς, pouls, et γράφειν, tracer.

que les pulsations sont d'inégale intensité, l'instrument le montre également par l'inégale hauteur des différentes courbes du tracé.

Si l'on compare les courbes du *sphygmographe* à celles que C. Ludwig (1) ou Volkmann (2) ont obtenues avec le *kymographion*, on est frappé d'une différence très grande dans la forme de chacune d'elles prise isolément. Dans les instruments

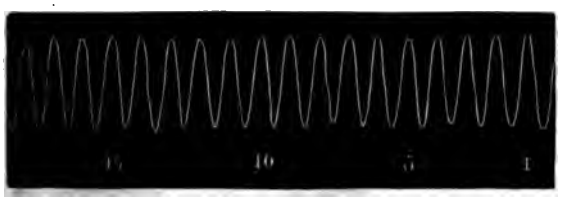


Fig. 21.

à colonne de mercure, la période d'ascension de la courbe est en général plus rapide que celle de descente; dans les tracés de Vierordt, les deux moitiés de cette courbe ont la même durée. Marey (3) a signalé la cause de cette différence : d'après lui, c'est le sphygmographe qui donne une fausse idée de la forme de la pulsation, et c'est dans la masse trop grande du double levier oscillant qu'est la cause de cette erreur. Dans l'instrument de Vierordt, le levier, assez lourd par lui-même, est équilibré par un contre-poids; puis, une charge additionnelle P (fig. 20) sert à presser sur le vaisseau avec assez de force pour que la pulsation se manifeste. Il en résulte une masse à mouvoir tellement considérable, que la force du pouls est insuffisante à produire le mouvement d'une manière instantanée, et que l'appareil n'éprouve plus que des oscillations lentes et sensiblement isochrones, comme celles d'une balance très chargée.

Pour remédier à cette cause d'erreur, Marey a construit un autre sphygmographe, dont le levier est d'une légèreté extrême, et dans lequel la pression sur le vaisseau s'exerce au moyen d'un ressort élastique : dès lors, la déformation de la courbe par l'inertie n'existe plus, et, comme résultat d'ailleurs prévu, on a la preuve que les deux moitiés de la pulsation ne sont pas égales. Avec ce nouvel instrument, on trouve les caractères du pouls assez analogues à ceux que fournissent les appareils à colonne de mercure. Comme on le verra, il a été modifié par son auteur pour s'appliquer spécialement à l'artère radiale, de telle sorte qu'on peut étudier sur l'homme, non plus seulement, comme avec le sphygmographe de Vierordt, la fréquence, le rhythme et la régularité du pouls, mais aussi toutes les variétés de forme de la pulsation, ce que le doigt n'est pas apte à apprécier d'une manière exacte.

Ayant repris les études hydrauliques indispensables pour l'intelligence du mouvement du sang dans les vaisseaux, voici comment Marey institua l'expérience dans le but d'établir la théorie du mouvement pour chaque afflux nouveau du liquide dans les conduits élastiques.

Un tube de caoutchouc, de deux ou trois mètres de longueur, constitue le conduit élastique dans lequel on veut étudier la transmission du mouvement en

(1) *Mém. cité.*
(2) *Hämodynamik*, etc., pl. IV, V, VI, VII, VIII.
(3) *Recherches hydrauliques sur la circulation du sang* (*Ann. des sc. nat.*, 1858, p. 321).

différents points de son étendue. Ce tube est adapté à une boule de caoutchouc B qui offre dans son intérieur deux valvules s'ouvrant du côté du tube, de telle sorte que lorsqu'on la presse entre les mains, le liquide est lancé dans le tube comme le sang l'est dans l'aorte à chaque systole du ventricule. Quand la boule n'est plus pressée, elle revient à sa capacité primitive en aspirant de l'eau du vase V au moyen d'un large conduit qui plonge dans ce liquide. L'extrémité terminale du tube de caoutchouc, qui représente un vaisseau artériel, est munie d'un ajutage étroit correspondant aux voies capillaires, et par lequel se verse l'eau dans le vase même où elle a été puisée. Comme les soupapes de la

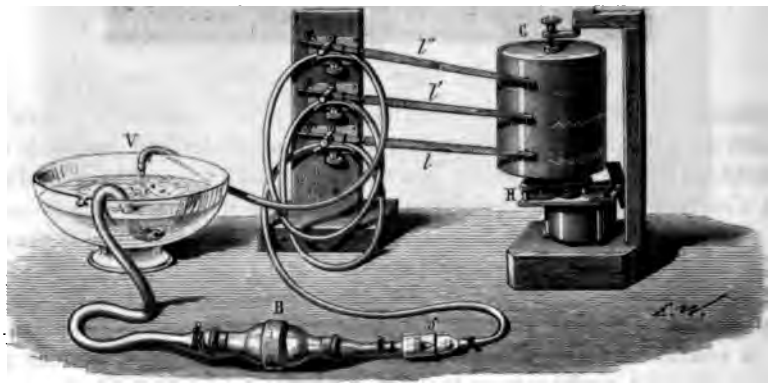


Fig. 22.

boule B ne sont pas toujours assez parfaites pour s'opposer au reflux, on place au point *s*, c'est-à-dire entre la boule et le tube élastique, une valvule très hermétique qui correspond aux valvules sigmoïdes de l'aorte. Si l'on palpe le tube pendant qu'on y envoie des ondées successives de liquide en comprimant la boule B à intervalles égaux, on sent des pulsations identiques avec celles que donne le toucher d'une artère. Ces pulsations sont de moins en moins sensibles à mesure qu'on explore un point plus éloigné de la boule.

Reste à déterminer d'une manière exacte la forme des pulsations en différents points du tube, afin de déduire les transformations qu'y éprouve le mouvement du liquide dans son trajet d'une extrémité à l'autre. A cet effet, Marey fait passer le tube sous trois sphygmographes, de telle sorte que chacun d'eux indique la forme de la pulsation en un point différent. Les trois instruments sont, ainsi que le montre la figure, portés sur un même support : comme ils sont exactement semblables entre eux, nous n'en décrirons qu'un seul.

Une plaque de métal supporte une gouttière dans laquelle on loge le tube, et qu'on peut, à l'aide d'une vis placée au-dessous d'elle, élever plus ou moins, de manière que la dilatation du tube soulève le levier *l* de l'instrument. Ce levier *l* a deux bras inégaux. Le plus petit est constamment tiré en haut par une bandelette de caoutchouc tendue et fixée par un clou sur le support. Le grand bras de levier, qui tend conséquemment à s'abaisser avec une force proportionnelle à la traction de la bandelette élastique, est formé par une longue tige de bois d'une minceur extrême, et obéit immédiatement à toute impulsion ; dans le voisinage de son centre de mouvement, il presse sur le tube, tandis que son extrémité libre décrit

des mouvements amplifiés d'ascension et de descente, suivant que le tube se dilate ou se resserre. Cette extrémité porte une pointe légère qui trace des courbes sur un cylindre C, qu'un mouvement d'horlogerie H fait tourner de droite à gauche.

Les trois leviers l, l', l'', sont de longueur égale et de direction parallèle, de telle sorte que les pointes écrivantes soient situées toutes trois sur une même ligne verticale. De cette manière, les mouvements de levier qui se passeront en même temps laisseront leur trace sur le cylindre C dans une verticale commune.

L'instrument étant mis en marche, et son tracé étant recueilli sur du papier gradué pour en bien saisir les détails, on obtient, si la tension est forte, la figure ci-jointe (fig. 23) :

Le tracé inférieur est fourni par le sphygmographe le plus rapproché de l'orifice d'entrée du tube. D'après l'inspection de la figure, on est amené à dire : 1° La pulsation commence partout en même temps ; seulement son maximum arrive d'autant plus tard qu'on s'éloigne davantage de l'orifice d'entrée du tube : il n'y

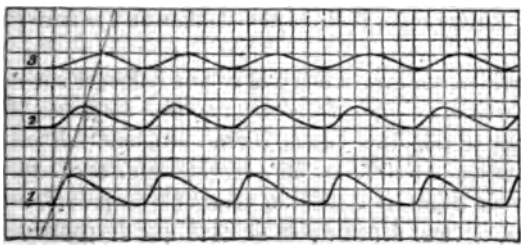


Fig. 23.

a donc dans les points éloignés qu'un *retard apparent* de la pulsation. — 2° Sous l'influence de l'élasticité du tube, la pulsation diminue d'amplitude, mais elle gagne en durée ce qu'elle perd en intensité : ainsi le levier, dans les points éloignés, s'élève moins haut, mais pendant plus longtemps que dans les points rapprochés de l'orifice d'entrée.

La ligne d'ensemble des niveaux des pulsations s'élève et s'abaisse, suivant que la tension du liquide contenu dans le tube s'élève ou s'abaisse elle-même. Conséquemment, on a pu constater, à l'aide de l'appareil dont il s'agit, que toute augmentation dans l'afflux du liquide élève la tension principalement dans les points du tube situés près de l'orifice d'entrée ; que toute diminution dans la facilité de l'écoulement élève la tension surtout du côté de l'orifice de sortie. Ces deux propositions avaient déjà été établies à l'aide du *manomètre compensateur* (1).

Ces premières expériences permettent déjà de faire des applications à la circulation sanguine. On peut, en effet, déduire les propositions suivantes :

1° L'*élasticité artérielle*, qui transforme l'afflux intermittent des ondées sanguines lancées par le cœur en un écoulement continu à travers les capillaires, modifie la forme de la pulsation suivant qu'on l'étudie dans un point plus ou moins rapproché du cœur.

2° Plus la pulsation est transformée par l'élasticité artérielle, plus elle perd en amplitude, tandis que sa période d'augment gagne en durée.

3° L'action transformatrice que l'élasticité artérielle exerce sur le caractère de

(1) MAREY, *Annales des sciences naturelles*, 1857, t. VIII, p. 537.

la pulsation est, à l'état sain, en raison de la distance entre le cœur et l'artère observée. Mais si le vaisseau offre sur son trajet un renflement ampullaire à parois élastiques, l'intervention de cette grande surface extensible transforme la pulsation comme le ferait une grande longueur de tube. On peut voir, avec l'appareil décrit fig. 22, que si, près de l'orifice d'entrée du conduit, on place une de ces ampoules de caoutchouc, la pulsation est supprimée au-dessous d'elle dans tout le reste du tube.

C'est par cette action transformatrice que Marey explique la *suppression du pouls par les anévrysmes* dans toute la partie du vaisseau située en aval de la poche anévrysmatique. On attribuait généralement à l'existence de caillots dans la poche cette suppression du pouls, tandis qu'il est évident que c'est à l'élasticité des parois de cette poche qu'on doit rapporter ce phénomène. La circulation n'est pas interrompue, mais son mouvement est régularisé, et comme le pouls est un effet des changements alternatifs dans la tension, il cesse d'exister dès que celle-ci est rendue uniforme. — On a vu un anévrysme de l'aorte supprimer le pouls dans toutes les artères du corps, et néanmoins la circulation continuait à se faire (1).

Il est une condition qui exerce une très grande influence sur le cours du sang dans le système artériel : *c'est le degré de la tension moyenne dans les artères.*

Lorsque le cœur se vide dans l'aorte, il rencontre une résistance d'autant plus grande que la tension artérielle est plus considérable; et si celle-ci s'abaisse au-dessous d'un certain degré, la systole du ventricule se produit avec une rapidité extrême, sans que le cœur dépense plus de force que de coutume. Alors, l'ondée lancée dans l'aorte prend une grande vitesse, et son mouvement se fait dans des conditions différentes de celles qui s'observent dans les cas de forte tension. Cette forme de mouvement s'accompagne toujours d'un phénomène particulier connu sous le nom de *dicrotisme du pouls.*

C'est encore au moyen d'expériences physiques que Marey est arrivé à établir cette variété de mouvement du sang dans les cas de faible tension artérielle, et à déterminer les conditions d'existence du *pouls dicrote*, c'est-à-dire dans lequel le doigt, appliqué sur l'artère radiale, perçoit deux pulsations pour une seule contraction du cœur.

Lorsque, dans l'appareil précédent (fig. 22), on rend la tension du liquide très faible au moyen d'un ajutage d'écoulement large, on voit que les pulsations ne se correspondent plus pour leur début, et qu'il y a un retard réel dans la transmission du pouls. C'est qu'à ce moment il y a une translation de la colonne liquide elle-même, et que celle-ci, cheminant tout d'une pièce, met un certain temps à s'avancer d'un bout à l'autre du tube. La translation de la colonne liquide, en vertu de la vitesse acquise, est rendue évidente au moyen du vide qu'elle laisse derrière elle, et qui se traduit, lorsqu'on met un manomètre à la partie initiale du tube, par une aspiration du mercure dont la colonne s'abaisse au-dessous du zéro. Si le tube employé a des parois assez minces, on peut le voir s'affaisser sous la pression atmosphérique, aussitôt après le passage de l'ondée. — Dans son parcours, la colonne liquide rencontre des obstacles, surtout si le tube se rétrécit brusquement au niveau de son ajutage d'écoulement. Le liquide, après avoir distendu les parties terminales du tube, reflue alors vers l'orifice d'entrée; une

(1) *Moniteur des hôpitaux*, 1857, n° 74, p. 388.

nouvelle augmentation de tension a lieu dans ces points; une seconde pulsation est perçue par le toucher. C'est là un véritable dicrotisme, c'est-à-dire deux pulsations perçues pour un seul afflux. — Ordinairement, la partie terminale du tube n'offre qu'une pulsation, parce que c'est à ce point que la réflexion a lieu; il arrive là, suivant la comparaison de Marey, ce qu'on observe dans l'*écho d'un son*. Dans ce dernier cas, on n'entend qu'un seul bruit lorsqu'on se place à la muraille réfléchissante. — Quelquefois néanmoins le liquide reflue une seconde fois des régions initiales du tube vers les régions terminales, qui offrent ainsi du dicrotisme, mais à un degré beaucoup plus faible.

Dans la circulation sanguine, l'itinéraire de la colonne liquide est le suivant : Le sang, lancé par le cœur gauche dans un système artériel où la tension est faible, prend une grande vitesse, fuit les régions initiales de l'aorte, après avoir envoyé une première pulsation dans les artères qui en émanent; arrivé dans la région iliaque, un obstacle soudain, le rétrécissement subit des voies sanguines, arrête sa marche. Les parties terminales de l'aorte se distendent sous l'influence de cet afflux; puis, quand la force vive s'est épuisée, l'*élasticité* réagit pour produire le reflux, et la colonne sanguine remonte du côté du cœur; lorsqu'elle revient augmenter la tension dans les régions initiales de l'aorte, une nouvelle pulsation est envoyée dans toutes les artères qui émanent de ce point.

La clinique fournit son appui à cette théorie du dicrotisme : Beau a montré que, dans les maladies qui s'accompagnent de dicrotisme du pouls, comme la fièvre typhoïde, etc., le pouls est simple à la fémorale, tandis qu'il est double à la radiale, et en général à toutes les artères dont les troncs naissent de la crosse de l'aorte. — En examinant le pouls de l'artère fémorale avec des instruments délicats, on peut pourtant y touver un léger degré de dicrotisme, qui n'est jamais, à beaucoup près, aussi prononcé que dans les artères des membres supérieurs et de la tête.

Conformément à la méthode à laquelle il s'était astreint dans toutes ses expériences, Marey a reproduit artificiellement, dans des tubes élastiques, le *pouls dicrote*.

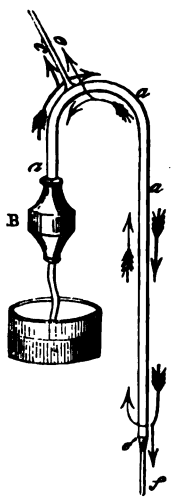


Fig. 24.

Un large tube *aa* (fig. 24), représentant l'aorte, se trouve en rapport, par l'une de ses extrémités, avecla boule de caoutchouc B munie de deux soupapes; celle-ci est destinée, quand on la comprime avec la main, à envoyer dans le tube une ondée de liquide, et joue, par conséquent, dans l'appareil, le rôle du cœur dans la circulation. A son autre extrémité, le tube *aa* se termine par un ajutage d'écoulement *f* qui produit, par son étroitesse, une résistance au passage du liquide, et conséquemment agit comme le font, dans la circulation sanguine, les résistances à vaincre dans les artères des membres inférieurs. Sur la convexité de la crosse formée par le tube *aa*, sont branchés un ou plusieurs tubes *c* qui, par leur position et leur direction, imitent les artères de la tête et des membres supérieurs, nées de la crosse de l'aorte.

L'appareil étant ainsi disposé, si l'on comprime la boule B de manière à lancer une ondée de liquide dans le tube *aa*, on a, dans le tube *c*, une double pulsation

perceptible à l'aide d'un manomètre ou d'un sphygmographe, c'est-à-dire un pouls dicrote. Le tube *f*, au contraire, ne donne qu'une seule pulsation bien marquée; si le dicrotisme s'y observe, il y est bien moins sensible. Ces résultats d'une expérience physique parfaitement d'accord avec ce que l'on constate sur l'homme sont bien faits pour montrer qu'il y a identité de nature entre le dicrotisme du pouls et le reflux du liquide qui a lieu dans l'expérience ci-dessus. — La direction des flèches indique, dans la figure, les deux mouvements alternativement centrifuge et centripète de la colonne liquide dans les différentes parties du tube.

La production du dicrotisme s'effectue d'autant mieux, que la tension artérielle est plus faible : c'est une conséquence de ce que nous savons déjà de l'influence de la faible tension sur la nature du mouvement du liquide, cette faible tension permettant seule à la colonne sanguine de prendre cette vitesse acquise qui produit le va-et-vient d'où résulte le dicrotisme.

Nous avons déjà signalé (*) la modification fondamentale que Marey a apportée dans la construction du *sphygmographe*, et qui lui a permis, en opérant sur des tubes élastiques, de déterminer les lois de la transmission du mouvement du sang dans les artères. Cet expérimentateur a construit, sur le même principe, un instrument qu'on peut aisément adapter à l'artère radiale de l'homme, avec lequel aussi il est facile d'opérer sur des tubes élastiques, de manière à contrôler l'un par l'autre l'expérimentation physique pure et les résultats obtenus sur l'homme.

Dans cette figure l'instrument est réduit au tiers de sa grandeur réelle.

Le cadre métallique qui le supporte s'articule sur les côtés avec des ailes mobiles BBB. Ces parties forment dans leur ensemble une gouttière qu'on rend à volonté plus ou moins concave, et qui s'applique exactement sur l'avant-bras ; on l'y fixe à l'aide d'un lacet dont les anses sont jetées alternativement d'un côté à l'autre de cette gouttière, sur de petits crochets qu'elle porte à cet effet. Les anses du lacet complètent donc par en bas cette sorte de brassard qui se trouve fortement assujetti.

La pression exercée sur l'artère, pour développer la pulsation, n'est pas obtenue par un poids dont la masse à mouvoir déformerait le tracé comme dans l'appareil de Vierordt, mais au moyen d'un ressort d'acier RR qui, fixé en arrière du cadre métallique, descend obliquement pour appuyer sur le vaisseau au moyen d'une petite plaque d'ivoire. Il est évident, dans cette disposition, que les conditions d'inertie sont supprimées, que le ressort obéira instantanément à l'expansion du vaisseau sur lequel il repose : reste à amplifier et à tracer ce mouvement sans le déformer.

La pression sur l'artère étant produite, on peut donner au levier L la plus grande légèreté ; aussi, dans l'instrument, est-il formé par une mince tige de bois terminée à son extrémité libre par une lamelle d'acier extrêmement ténue. A la place du cylindre tournant employé dans les appareils à indications continues, et qui, avec son moteur, occupe un volume considérable, l'auteur emploie une plaque de verre enfumée P qu'un mouvement d'horlogerie, H, placé en arrière du brassard, fait mouvoir dans une rainure.

Lorsque l'appareil est appliqué sur l'avant-bras, suivant que le sujet a l'artère

(*) Voir ci-dessus, p. 829.

radiale plus ou moins profondément située, il existe entre le levier et le ressort qui presse sur le vaisseau un intervalle plus ou moins large. Il fallait donc que la pièce qui doit transmettre le mouvement du ressort au levier eût une hauteur

Fig. 25.

variable comme l'intervalle lui-même. A cet effet, une pièce mobile *bb*, basculant près de la base du ressort, porte à son extrémité libre un couteau qui soulève le levier; près du même point, elle est traversée verticalement par une vis V dont la pointe repose sur le ressort R, et qui transmet le mouvement au couteau. On peut ainsi, en tournant plus ou moins la vis, établir dans tous les cas la transmission du mouvement du ressort au levier.

Enfin, comme le levier est très léger, il fallait assurer sa descente : ce résultat est obtenu à l'aide d'un petit ressort *r* qui presse sur lui, et a en outre pour effet de l'empêcher d'abandonner jamais le couteau qui le soulève, et d'être projeté en l'air lorsque le pouls est brusque et fort.

Quand on veut, à l'aide de ce sphygmographe, étudier la forme du *pouls artificiel* obtenu avec des tubes de caoutchouc, on se sert d'une pièce de bois dont la forme arrondie, comme celle de l'avant-bras, permet l'adaptation du brassard. Cette pièce présente, à sa partie supérieure, une rainure dans laquelle est logé le tube dont on se propose d'examiner les pulsations, de manière que le ressort puisse presser sur lui comme il le fait sur l'artère radiale.

La tension artérielle change à chaque instant selon les différentes conditions physiologiques, et entraîne ainsi des changements dans la forme du pouls, qu'il était important de bien connaître.

C'est par des expériences sur le pouls artificiel, dans lesquelles il a pu faire varier à son gré telle ou telle condition, que Marey a cherché la solution de cette question importante. Les résultats qu'il a obtenus nous paraissent offrir toute la netteté désirable. — A égale force d'impulsion du liquide, l'état de la tension dans le tube se traduit par des changements caractéristiques dans l'amplitude et la forme du tracé obtenu. Il est toujours facile de graduer la tension dans le tube sur lequel on opère, sans rien changer à la force d'afflux : pour cela, on adapte à l'orifice d'écoulement du liquide des ajutages plus ou moins étroits.

La figure 26 montre les changements survenus dans la forme des pulsations

sous l'influence d'accroissements de tension obtenus à l'aide d'ajutages différents, de plus en plus étroits.

La force d'afflux est restée constante ; la pression sur la boule qui simule l'action du cœur était produite par la chute d'un poids d'une hauteur toujours la même.

A. — *L'amplitude de la pulsation est en raison inverse de la tension artérielle.* — La figure 26 montre, en effet, cette amplitude toujours de plus en plus petite du premier tracé au quatrième. Ce n'est pas seulement avec le sphygmographe que l'on peut constater ce fait ; un manomètre, appliqué au tube, montre que l'amplitude des oscillations est toujours en raison inverse de la tension. Enfin, en palpant le tube à la manière d'une artère dont on tâte le pouls, on constate que, dans le cas de tension forte, les pulsations sont peu sensibles et que le tube est constamment dur au toucher. Dès que la tension baisse, les pulsations deviennent de plus en plus perceptibles, et le tube, dépressible dans l'intervalle de deux pulsations consécutives, se durcit brusquement à chaque afflux du liquide et frappe le doigt avec force. — On verra plus loin comment on arrive, sur l'artère radiale de l'homme, à obtenir des résultats tout aussi précis que ceux des expériences dont nous parlons. Montrons que, dans les recherches d'hémométrie faites par les différents

Fig. 26.

physiologistes, et dans les observations cliniques elles-mêmes, on trouve la confirmation de cette première loi.

Cl. Bernard (1), ayant appliqué un manomètre à la carotide de divers animaux, a constaté que, dans certaines expériences où il voyait la hauteur manométrique augmenter, l'amplitude des oscillations de la colonne de mercure diminuait en même temps. Ainsi, dans l'opération de la transfusion du sang, dans l'effort, dans la pléthore, etc., ce physiologiste, reconnaissant avec Poiseuille deux sortes de tension (l'une constante, appartenant aux vaisseaux, l'autre variable, produite par l'impulsion du cœur), a admis que, dans ces cas, la force du cœur avait varié en raison inverse de la tension artérielle. — Dans ces variations de l'amplitude des oscillations suivant la tension artérielle plus ou moins forte, il peut y avoir une constance parfaite dans la force d'afflux du liquide, seulement le mouvement est réparti d'une autre manière. Quand la tension est forte, l'ondée ventriculaire ne pénètre qu'avec peine et lenteur dans le système artériel, et dès lors le changement que son afflux amène dans l'état de la tension gagne en durée ce qu'il perd en intensité. Ce fait s'expliquera mieux lorsque nous analyserons la forme du pouls.

Les cliniciens ont signalé un phénomène qui ne s'explique bien que par l'in-

(1) *Leçons sur les propriétés physiologiques et les altérations pathologiques des liquides de l'organisme.* Paris, 1859, t. I, p. 194 et 208.

fluence de la tension artérielle sur l'amplitude du pouls. Sous le nom vague d'*oppression des forces*, ils ont désigné un état de la circulation qu'on observe dans certaines maladies, et dans lequel le pouls est peu perceptible au toucher. Si, en pareil cas, on pratique une saignée, le pouls reprend de la force. — La saignée fait baisser la tension artérielle : les expériences de Hales (1) l'ont démontré de la manière la plus péremptoire, et ce physiologiste a constaté lui-même que la force du pouls augmente quand la tension baisse. Or, il semble tout naturel d'expliquer par l'abaissement qui se produit alors dans la tension, la force plus grande que prend le pouls à la suite de la saignée (2).

Hales pensait que, dans la force du pouls, on trouve une expression de la force de l'animal : dès lors comment comprendre qu'en affaiblissant cet animal au moyen d'une saignée, le pouls prenne une force plus grande? Voici les subtilités de raisonnement à l'aide desquelles il croit arriver à une explication : « Un animal, dit-il, a deux espèces de forces, l'une *actuelle*, celle qu'il dépense, l'autre qu'il tient en réserve pour les besoins, et qui, ajoutée à la première, constitue la force *totale*. Quand l'animal est affaibli par une saignée, la force du pouls augmente, parce que la nature vient puiser dans la force en réserve, et que cet emprunt, passant à sa dépense, devient de la force *actuelle*. »

B. — *La forme du pouls est modifiée par l'état de la tension artérielle.* — Si la tension artérielle est forte, la ligne d'ascension sera plus courbe en général, le sommet de la courbe sera moins aigu, la ligne de descente convexe, et il n'y aura que peu ou pas de dicrotisme.

Tous ces faits s'expliquent mécaniquement comme il suit : — La ligne d'ascension, un peu plus courbe, exprime une plus grande durée de la systole ventriculaire ; elle est due à ce que le cœur n'envoie pas son ondée d'une manière aussi brusque, lorsque la forte tension artérielle lui oppose une grande résistance. — La tension, une fois portée à son maximum, y est maintenue pendant la durée de l'impulsion ; dès lors, au lieu de présenter un sommet aigu, comme dans le cas de tension faible, la pulsation de tension forte présente à son sommet un plateau dont la longueur est d'autant plus grande que la systole du cœur met plus de temps à s'effectuer. — La descente moins rapide signifie que, l'écoulement étant difficile, cette même raison qui rend la tension élevée rend la décroissance de tension plus lente dans l'intervalle qui sépare deux pulsations consécutives. — Enfin, le dicrotisme n'arrive que quand la tension n'est pas très forte, car il est la conséquence de la grande vitesse que prend la colonne liquide dans les cas seulement où la tension est assez faible pour permettre une brusque systole du ventricule.

S'il était indispensable d'établir, à l'aide d'expériences hydrauliques, les lois relatives au changement de forme du pouls suivant l'état de la tension, il l'était également de contrôler les résultats obtenus par des observations faites sur l'homme.

Marey appliqua donc son sphygmographe à l'artère radiale, et chercha les moyens les plus simples de faire varier la tension, afin de voir si les modifications

(1) Hales, *Hæmastatique*, etc., trad. de Sauvages. Genève, 1774, in-4.
(2) Marey, *Du pouls et des bruits vasculaires* (*Journal de physiologie de l'homme et des animaux*, 1859, p. 420).

du pouls correspondaient aux changements de tension suivant le rapport trouvé dans les précédentes expériences.

Le schéma de Weber (*) montre comment l'obstacle, placé au milieu du circuit vasculaire, produit dans la première moitié de ce cercle une élévation de tension d'autant plus grande qu'il offre plus de résistance au passage du liquide. Cet obstacle, comme on le sait, est destiné à imiter celui que le sang artériel rencontre dans les petits vaisseaux avant de pénétrer dans le système veineux. Disons, par anticipation, que ces voies capillaires n'ont pas toujours le même degré de perméabilité : si elles se dilatent, le sang artériel s'écoule plus vite; si elles se resserrent, il passe avec plus de difficulté. Dans le premier cas, la tension artérielle baisse, elle s'élève dans le second. — Parmi les nombreux agents qui font varier le calibre des petits vaisseaux, et dont il sera question à propos de la *contractilité* des artères, la chaleur et le froid produisent des effets entièrement opposés : la chaleur dilate les petits vaisseaux et fait baisser la tension; le froid les fait contracter, et conséquemment produit une tension artérielle plus élevée. L'emploi de ces deux moyens, pour faire varier le diamètre des vaisseaux, offre en outre l'avantage de localiser ses effets à la périphérie du système vasculaire, et d'influencer vraisemblablement très peu l'innervation ou la force contractile du cœur.

En opérant dans ces conditions et en étudiant comparativement les tracés du pouls, lors de l'application du froid et de la chaleur à la surface du corps, Marey a obtenu deux types du pouls qui offrent des caractères opposés, et qui se rapportent l'un à la tension forte, et l'autre à la tension faible.

Une douche froide étant reçue pendant une minute, et le corps restant exposé à l'air froid sans être essuyé, on obtient le tracé suivant, dans lequel se reconnaissent les caractères de la forte tension (fig. 27).

Fig. 27.

Si, au contraire, on reste chaudement vêtu dans une chambre très fortement chauffée, au bout du temps nécessaire pour que la dilatation des vaisseaux se produise (ce qui s'accuse par la rougeur et la turgescence des extrémités), on obtient le tracé ci-dessous qui exprime l'abaissement de la tension artérielle (fig. 28).

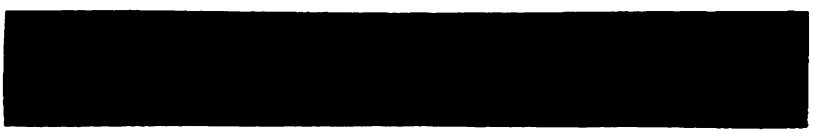


Fig. 28.

Enfin, pour se mettre encore plus à l'abri des influences qui pourraient troubler l'état général, on peut provoquer les changements de la tension artérielle d'une ma-

(*) Voyez ci-dessus, p. 764.

nière plus mécanique, en comprimant une ou plusieurs artères volumineuses. Cela revient à soustraire à l'écoulement du sang artériel une large voie par laquelle il passait dans le système veineux. En rendant, par la compression, ce passage plus difficile, on augmente nécessairement la tension dans les artères. Réciproquement, lorsqu'on a ainsi élevé la tension, on la fait baisser à volonté en cessant la compression et en rendant perméables les artères oblitérées.

Le sujet étant couché sur le dos et l'instrument appliqué sur son artère radiale, on comprime fortement les deux artères fémorales en ayant soin d'éviter de déterminer de la douleur, ce qui pourrait amener des perturbations dans l'état circulatoire. Lorsque la compression a duré quelques instants et que la tension s'est élevée dans le système artériel, on fait marcher l'instrument, qui donne le tracé du pouls avec les caractères de la forte tension. Dès que la plaque du sphygmographe est ar-

Fig. 29.

rivée à la moitié de sa course, on cesse la compression, et l'on constate que la tension s'abaisse; ce dernier effet se traduit non-seulement par l'abaissement du niveau général des courbes, mais aussi par leur plus grande amplitude, par l'apparition du dicrotisme et la concavité de la ligne de descente.

On a vu, à propos des influences qui font varier la fréquence des battements du cœur, que cette fréquence est en raison inverse de la résistance qu'éprouve la systole du ventricule. La tension artérielle, qui presse sur les valvules sigmoïdes de l'aorte, constitue cet obstacle à la contraction ventriculaire; plus elle sera élevée, moins les battements du cœur devront être fréquents. Les deux figures précédentes montrent clairement l'exactitude de cette loi. La fréquence du pouls s'évalue, dans les tracés, d'après le nombre des courbes inscrites sur une longueur donnée de la plaque, puisque celle-ci chemine toujours avec la même vitesse. En recherchant la fréquence du pouls dans la figure 27, où la tension artérielle était forte, on voit qu'elle était de 9, seulement pour la longueur totale du tracé. Dans le cas où la tension était faible (fig. 28), la fréquence est de 13 pour la même longueur de tracé, c'est-à-dire pour la même durée. Dans la figure 29, on peut voir également que la fréquence du pouls a changé avec la tension, et que, pendant la compression des artères fémorales, le cœur battait moins souvent que quand on eut cessé cette compression. Si, en effet, on prend avec un compas la mesure de quatre pulsations de la première moitié du tracé et qu'on reporte cette longueur sur la seconde moitié, on trouve que, dans cette même étendue, il y a un plus grand nombre de pulsations : ainsi, quand la tension était élevée, les battements du cœur étaient moins fréquents que lorsqu'elle s'est abaissée.

Les expériences de Hales (1) confirment la théorie de la fréquence du pouls, dans laquelle cette fréquence serait en raison inverse de la tension artérielle. Ce grand observateur a vu que, chez le cheval, la tension normale est représentée par une colonne sanguine qui s'élève dans le manomètre à une hauteur de 8 pieds

(1) *Ouvr. cit.*, p. 5.

3 pouces anglais. Dans ces conditions, la fréquence du pouls est de 40 pulsations par minute. Si, au moyen de saignées, on fait baisser graduellement cette tension jusqu'à 2 pieds 4 pouces, le pouls prend une fréquence croissante et arrive à 100 pulsations et au delà par minute.

Contractilité des artères.

Tous les physiologistes ont reconnu que les artères offrent, dans certaines circonstances, des changements notables de diamètre : tantôt elles sont larges et distendues par le sang, tantôt elles reviennent sur elles-mêmes, au point que leur calibre s'efface presque entièrement. Quelle est la cause immédiate de pareils changements ? Beaucoup d'observateurs les ont considérés comme résultant simplement de l'élasticité du vaisseau artériel, qui se laisse dilater quand la tension intérieure est considérable, et qui revient sur lui-même dès que cette tension diminue. D'autres physiologistes ont admis dans les artères une contractilité [illegible], analogue à celle du tissu musculaire; quelques-uns sont même allés jusqu'à supposer que ces vaisseaux se contractent et se relâchent alternativement, et que, sous l'influence de ces mouvements rhythmés, la propulsion du sang s'opère dans les tissus de l'économie, les artères jouant ainsi le rôle de cœurs périphériques (1).

C'est entre ces deux opinions extrêmes que se trouve la vérité. Les artères sont réellement contractiles, c'est-à-dire que, par suite de l'action nerveuse ou d'un stimulant directement porté sur elles, on les voit se resserrer activement et faire obstacle au passage du sang à leur intérieur. Cette contractilité, généralement admise aujourd'hui, fut bien longtemps méconnue; puis, lorsqu'elle eut été rendue évidente, on se fit une fausse idée de ses effets physiologiques.

Le nom de *contractilité*, donné à cette propriété en vertu de laquelle les artères peuvent modifier *activement* leur diamètre, doit être nettement défini. Bichat refusait aux artères tout rôle actif dans leurs changements de calibre, et pourtant il disait qu'elles sont contractiles : par ce mot, Bichat n'entendait évidemment désigner que l'élasticité. D'autres auteurs accordaient aux artères la propriété d'être *irritables*, c'est-à-dire de réagir lorsqu'on leur applique des stimulants directs : sous cette dénomination, ils comprenaient ce que nous appelons maintenant la *contractilité*.

Le débat relatif à l'existence de la contractilité vasculaire dura longtemps, chaque parti s'appuyant, pour l'admettre ou pour la rejeter, sur des expériences qu'il jugeait concluantes. Haller (2), qui d'abord avait reconnu que les artères sont irritables, parut en définitive se laisser entraîner à l'opinion contraire : « Quoique, dit-il, je ne nie pas absolument l'irritabilité des artères, je ne vois pas que mes expériences l'établissent. » Bichat (3) nia formellement la contractilité artérielle, et les recherches anatomiques de Mascagni (4), qui n'avait pu trouver dans l'aorte et les grosses artères l'élément contractile, semblaient justifier ces opinions. La chimie elle-même (5) avait montré que la tunique moyenne des artères diffère, par

(1) Voir SÉNAC, *Traité de la structure du cœur, etc.*, 2e édit. Paris, 1777, t. II, p. 193.
(2) *Mémoires sur la nature sensible et irritable des parties du corps animal*, t. I, p. 87. Lausanne, 1756.
(3) *Anatomie générale*, 1801, t. I, p. 336.
(4) *Prodromo della grande anatomia*, vol. I, p. 192.
(5) BERZELIUS, *Traité de chimie*, t. VII, p. 84, trad. franç.

la composition, du tissu musculaire proprement dit. Enfin Magendie (1), posant une ligature sur une artère et voyant la partie du vaisseau située au-dessous se vider dans le système veineux, n'admit dans ce phénomène qu'un pur effet de l'élasticité vasculaire.

Aucun des arguments sur lesquels s'appuient les adversaires de la contractilité artérielle n'est inattaquable. Une de leurs premières fautes, c'est d'avoir voulu absolument chercher la contractilité, et le tissu qui la possède, dans les plus grosses artères de l'économie. C'est, en effet, à l'aorte et à ses plus grosses divisions qu'ils se sont adressés dans le but de trouver le maximum de développement de chacune des tuniques vasculaires avec ses propriétés spéciales : or, il est démontré aujourd'hui que la contractilité artérielle, presque nulle dans le voisinage du cœur, acquiert son maximum d'action dans les artères les plus petites. Il n'est donc pas étonnant que des irritations portées sur les troncs volumineux les aient trouvés réfractaires. Les résultats de l'expérimentation s'accordent d'ailleurs parfaitement avec ceux de l'observation anatomique : dans les gros troncs artériels, les éléments musculaires de la tunique moyenne sont en très petite proportion, relativement aux fibres élastiques; c'est le contraire qui s'observe dans les ramuscules artériels où les fibres contractiles deviennent si nombreuses, qu'elles en constituent presque à elles seules la tunique intermédiaire. — Les différences trouvées par la chimie entre la composition de la tunique moyenne des artères et celle des muscles proprement dits ne prouvent à la rigueur qu'une seule chose, c'est que ces tissus ne sont pas semblables. Mais pourquoi n'auraient-ils pas des propriétés analogues ? Quant aux expériences de Magendie, elles sont encore moins probantes, s'il est possible; car, en admettant que l'*élasticité* suffise pour produire les phénomènes qu'il avait observés, pourquoi la contractilité n'agirait-elle pas concurremment pour expulser le sang des artères, et surtout, quelle raison aurait-on de conclure qu'elle ne se manifeste pas dans d'autres circonstances ?

Quoi qu'il en soit de la valeur de ces expériences, leurs résultats négatifs doivent être mis de côté, puisque l'existence de la contractilité artérielle est une vérité irrévocablement acquise à la science.

John Hunter (2) avait fait plus que démontrer la contractilité dans les artères, il avait prouvé aussi que cette propriété n'est pas également répartie dans tout ce système de vaisseaux, et que, faible dans le voisinage du cœur, elle se prononce de plus en plus à mesure que les artères ont un plus petit volume. — Ayant observé que, dans la mort par hémorrhagie, le système artériel est fortement revenu sur lui-même, il fit voir que ce n'est pas là un simple résultat de l'élasticité : en effet, en distendant de nouveau ces vaisseaux, il constata qu'au lieu de revenir à leur calibre primitif, ils restaient plus larges qu'auparavant. Que s'était-il passé ? En distendant ces vaisseaux, on avait détruit l'état de contraction, comme on détruit la rigidité cadavérique d'un muscle en l'allongeant; dès lors, l'artère avait repris, sous l'influence de l'élasticité seule, le calibre qu'elle possède quand la contraction ne s'exerce pas. J. Hunter vit également que, pour un même vaisseau, le diamètre auquel il revient est toujours le même, quelle que soit la force employée pour le distendre. Enfin, si l'on opère sur des artères d'inégale grosseur,

(1) *Précis élémentaire de physiologie*. Paris, t. II, p. 387.
(2) *Sur le sang et l'inflammation* (*Œuvres complètes*, t. III, p. 194 et suiv., trad. franç. par Richelot).

plus le vaisseau est petit, plus il y a de différence entre son calibre pendant la contraction et celui auquel il revient après avoir été distendu. J. Hunter regarde cette différence comme exprimant l'intensité de la force contractile dans les diverses artères; et, lorsqu'il conclut que cette force augmente pour chaque vaisseau à mesure qu'on s'éloigne du cœur, il s'appuie sur les expériences suivantes :

Un cheval étant tué par hémorrhagie, afin de provoquer la contraction de ses artères, le diamètre de l'aorte fut mesuré ; puis, lorsqu'on eut distendu ce vaisseau et qu'on l'eut laissé revenir à son état naturel, il fut trouvé plus large de $\frac{1}{17}$. Cette fraction représente donc la quantité dont il s'était contracté, au moment de la mort. La même expérience faite sur l'artère axillaire donna pour la mesure de sa contraction $\frac{1}{8}$; pour la fémorale, on trouva $\frac{2}{3}$, etc. — Tous les chiffres obtenus allaient en croissant pour les vaisseaux les plus éloignés du cœur.

Voici encore d'autres preuves plus directes de la contractilité des artères. Wedemeyer (1), qui ne produisit aucune contraction dans l'aorte d'une grenouille par la stimulation galvanique, réussit à faire contracter très manifestement les artères mésentériques, qui se réduisirent des trois quarts de leur diamètre. Plus récemment, E. H. et Ed. Weber (2), à l'aide d'un courant électro-magnétique, ont vu de petites artères de $\frac{1}{7}$ à $\frac{1}{17}$ de ligne en diamètre, se contracter, après une irritation de cinq à six secondes, de plus de la moitié de leur cavité; la contraction a même pu, par la prolongation de l'excitation, aller jusqu'à interrompre le cours du sang. Quand le courant électro-magnétique était trop intense, il y avait au contraire paralysie du vaisseau et dilatation portée jusqu'au double. — Des injections irritantes, poussées dans les artères des animaux vivants, font contracter ces vaisseaux (3). — Le grattage par le scalpel donne les mêmes résultats. — On observe journellement, dans les opérations chirurgicales, qu'une artère coupée donne un jet de sang qui disparaît peu à peu et quelquefois cesse complétement, surtout si l'on excite le bout du vaisseau; la lumière de l'artère est alors complétement effacée. Mais peu à peu la contraction diminue et le vaisseau reprend sa perméabilité, d'où une hémorrhagie si l'on n'a pas eu soin d'appliquer une ligature. Ce fait vulgaire est non-seulement une démonstration de la contractilité artérielle, mais il met aussi en évidence un caractère important de cette propriété; caractère qui la différencie de la contractilité des muscles de la vie animale : en effet, lorsqu'on irrite une petite artère, la contraction est lente à se produire et lente à s'éteindre, tandis que si l'on excite un muscle de la vie animale, il se contracte et se relâche d'une manière subite. Cette lenteur à se manifester et cette lenteur à cesser après l'irritation, qui distinguent la contractilité des artères de celle des muscles de la vie animale, la rapprochent au contraire de celle des muscles de la vie organique : l'intestin, par exemple, au moment où on l'irrite, reste immobile, et ce n'est qu'un instant après qu'on observe une contraction dans le point irrité et dans les points voisins, contraction qui, en général, persiste pendant assez longtemps.

La contractilité des artères se retrouve toujours avec ce caractère, quel que soit le moyen employé pour la provoquer; qu'il s'agisse de la section transversale d'une artère, d'irritants mécaniques, chimiques ou galvaniques, appliqués à un de ces vaisseaux, des effets du froid, etc.

(1) *Untersuchungen über den Kreislauf des Blutes*, p. 180. Hannover, 1828.

(2) *Bericht über die Verhandlungen der Kœnigl. Sachs. Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig*, 1836, t. III, p. 91.

(3) Zimmermann, *De irritabilitate*, etc. Gœttingue, 1751, p. 24. — Verschuir, *De vi arteriarum et venarum irritabili*. Groningæ, 1766, p. 82.

Le *relâchement* qui a lieu aussi dans les artères, sous certaines influences, est ès important à étudier. Presque toujours ce relâchement succède à la *contrac-on*, quand celle-ci a été assez forte; mais, dans certains cas, une stimulation cessive du vaisseau amène son relâchement immédiat, c'est-à-dire sans con-action préalable.

Les changements de diamètre qui s'observent dans les artères ont pour consé-uence mécanique des changements dans la vitesse du sang qui traverse ces vais-aux. Nous nous sommes expliqué longuement sur ce point à propos des ob-acles au cours du sang.

Rappelons néanmoins très sommairement ce qui a lieu au sujet de la tension térielle. Plus les petites artères seront contractées, plus le sang aura de peine à averser ces vaisseaux pour passer dans le système veineux : dès lors la tension térielle deviendra considérable, ce qui se reconnaîtra à certaines formes du uls, à la rareté des battements du cœur, etc. Si les artères sont relâchées, le ng les distendra en se frayant ainsi un passage facile ; la tension artérielle bais-ra, et il se produira, dans la fréquence du pouls et dans les caractères de chaque ulsation, des phénomènes inverses des précédents et caractéristiques de la faible nsion.

La *contractilité des artères*, pas plus que celle des muscles ordinaires, n'est dépendante de l'*action nerveuse*. C'est seulement dans ces dernières années que tte vérité a été bien établie, et que l'on a connu les principaux *nerfs vaso-oteurs*, c'est-à-dire les nerfs qui tiennent sous leur dépendance la contraction ou relâchement des vaisseaux : jusque-là l'influence du système nerveux sur la rculation périphérique n'avait été qu'entrevue ou soupçonnée.

Il faut remonter à Willis (1) et à Haller (2) pour trouver les premières notions cette influence; mais l'idée qu'assez généralement on se faisait du rôle des nerfs ait bien différente de celle que nous en avons aujourd'hui. Les filets nerveux ux-mêmes étaient supposés se contracter, et, en rétrécissant le calibre du vaisseau u'ils enlaçaient dans leurs mailles, retarder ainsi le cours du sang à son intérieur. y eut pourtant quelques observateurs qui admirent, vers la même époque, une ntractilité propre aux artères et influencée par l'innervation : « Les artères, qui nt si actives, dit Sénac (3), sont de vrais cœurs sous une autre forme ; elles ont les mêmes fonctions, les mêmes mouvements... Ces mouvements sont des dilatations et les contractions alternatives qui se succèdent sans cesse... La force attachée au tissu les artères est dépendante des fibres musculaires sur la réalité desquelles on a voulu eter quelques soupçons. » Plus loin Sénac (4) ajoute : « Des *nerfs sans nombre* se « distribuent à toutes ces fibres : voyez les plexus mésentériques, ils embrassent de « grandes artères, se divisent comme elles, et leur envoient des filets qui les accom-« pagnent jusqu'aux dernières ramifications; or, que nous annonce tout cet appa-« reil ? *Une puissance qui domine les autres.* » Abr. Ens (5), qui croyait aussi aux

(1) *De cerebro et nervis*, etc., p. 121. — *Descriptio nervorum*, p. 174.
(2) *Nervorum in arterias imperio*. Gœttingue, 1744. — *Opera minora*, t. I, p. 513. — *Elementa physiol.*, t. II, p. 206.
(3) *Traité de la structure du cœur*, *etc.*, 2e édit. Paris, 1777, t. II, p. 193.
(4) *Ouvr. cit.*, t. II, p. 194.
(5) *De causa vices cordis alternas producente*. Utrecht, 1745 (*Disput. anat.* de HALLER, t. II, p. 411).

contractions rhythmiques des artères, affirmait que la section des nerfs les fait disparaître.

Spallanzani (1) provoqua une réaction contre ces idées. On trouve, dans ses recherches sur la circulation, une réfutation des expériences qui avaient d'abord conduit Haller à admettre une faculté contractile dans les artères. A plus forte raison, Spallanzani, qui parvint à ramener à son opinion Haller lui-même, ne reconnaît-il aucune participation du système nerveux au cours du sang dans les vaisseaux artériels.

Une nouvelle réaction en faveur de la contractilité des artères et de l'influence des nerfs sur cette propriété devait s'accomplir de nos jours : les expériences de Willis sur les pneumogastriques furent reprises, et Magendie lui-même, qui niait la contractilité vasculaire, fournit des matériaux propres à en faire admettre l'existence. En effet, ses expériences relatives à l'action des pneumogastriques sur la circulation pulmonaire ont contribué à démontrer le rôle de ces nerfs comme *vaso-moteurs* du poumon. Mais Magendie ne s'était pas rendu un compte exact de la congestion qui suit la section des nerfs précédents; il regardait comme une altération de la nutrition, des effets dus à la dilatation paralytique des vaisseaux pulmonaires. Avant les recherches de l'expérimentateur français sur le nerf trijumeau (2), Landmann (3) et Herbert-Mayo (4) avaient publié, chacun, une observation importante sur les altérations de l'œil qui accompagnent la lésion de cette paire nerveuse; altérations qu'on rapporte aujourd'hui à la suppression d'influence de filets nerveux *vaso-moteurs*. Les travaux de Günther (*) et de Wedemeyer (5) sur l'influence nerveuse dans la circulation méritent également d'être mentionnés. Ce dernier ne semble guère admettre, à l'état normal, que l'action des nerfs sur les mouvements du cœur. Cependant il n'hésite pas à croire que, dans bien des cas, sous l'influence d'excitations directes ou indirectes, les vaisseaux puissent se contracter et faire plus ou moins d'obstacle au cours du sang : ce serait toujours par un *resserrement* des vaisseaux et un ralentissement consécutif plus ou moins grand de la circulation que, d'après Wedemeyer, se manifesterait l'influence nerveuse du côté de la périphérie. Treviranus (6), ayant expérimenté sur la grenouille, constata une atteinte grave portée à la circulation locale et capillaire des membres après la destruction de leurs nerfs. Vers la même époque, Brachet (7) émit également quelques idées assez justes sur le rôle du grand sympathique dans la circulation. En 1840, Henle et B. Stilling (8) admirent que le système nerveux ganglionnaire exerce une influence constante sur la contractilité des vaisseaux. B. Stilling proposa de donner à cet ordre de nerfs le nom de *vaso-moteurs*, qui, aujourd'hui, est assez généralement adopté. Nous verrons, comme Henle le reconnut bientôt, que cette opinion est trop exclusive, et qu'en effet un pareil rôle n'est pas seulement dévolu au grand sympathique.

(1) *Expériences sur la circulation*, p. 385, trad. franç.
(2) *Journ. de physiol. expérim.*, 1824, t. IV, p. 303.
(3) *Commentatio anatomica exhibens morbum cerebri et oculi singularem.* Lipsiæ, 1820.
(4) *Journal de physiol.* de MAGENDIE, t. III, p. 356.

(*) Dans ses expériences sur la section des *nerfs de la verge*, GÜNTHER a surtout constaté la dilatation et l'injection vasculaires de cet organe.

(5) *Untersuchungen über den Kreislauf des Blutes*, etc., p. 331 et suiv. Hannover, 1828.
(6) *Biologie*, t. IV, p. 267, 648.
(7) *Fonctions du système nerveux ganglionnaire* (passim), 2e édit., 1837.
(8) *Physiol.-pathol. und med.-pract. Untersuch. über die Spinal-Irritation.* Leipzig, 1840.

Schiff (1), en 1845, ajouta de nouvelles données à ce qu'on savait déjà sur les nerfs *vaso-moteurs*. D'après lui, chez les grenouilles, les vaso-moteurs des membres seraient contenus dans les cordons nerveux de la vie de relation et dans la moelle épinière; — des nerfs partis de la moelle, et en émergeant avec les racines antérieures, viendraient animer les vaisseaux de l'intestin; — les ganglions, situés sur le trajet de ces nerfs, se laisseraient traverser par eux sans modifier leurs propriétés; — enfin, ces nerfs vaso-moteurs remonteraient dans la moelle épinière jusqu'à l'encéphale, et pourraient être suivis jusqu'aux couches optiques.

En 1847, Schiff fit publier par un de ses élèves, F. de Meyer (2) ce fait, qui depuis a été vu par tous les physiologistes avec tant d'intérêt, que *la paralysie des nerfs vaso-moteurs détermine, en même temps que la dilatation des vaisseaux, l'élévation de la température comme effet consécutif.* A la même époque, Axmann (3) reproduisit et soutint l'opinion que le grand sympathique est l'unique source des nerfs qui président à la contractilité vasculaire.

Comme on le sait, c'est en 1851 que Cl. Bernard (4), répétant les expériences de Pourfour du Petit, découvrit que la section du grand sympathique cervical produit l'élévation de température dans la moitié correspondante de la tête. Ce fut la démonstration expérimentale la plus frappante de l'action du grand sympathique sur la circulation. Cette expérience vulgarisa la connaissance de l'innervation des vaisseaux, et permit à tous les physiologistes de voir, nettement et d'un seul coup, les effets de congestion et d'élévation de la température qui résultent de la section de certains nerfs. Jusque-là on ne trouvait que des mentions éparses de ces phénomènes, comme dans les expériences de Dupuy (5) sur l'ablation des ganglions cervicaux du grand sympathique, et dans celles de Mayer (de Bonn) (6) sur la ligature des pneumogastriques.

Quant à l'explication des précédents phénomènes, Cl. Bernard supposa d'abord que le système nerveux ganglionnaire exerce une influence directe sur la calorification, et que sa section n'agit pas primitivement sur l'état circulatoire, mais bien sur la production de la chaleur, par un mécanisme insaisissable comme celui des propriétés vitales. Brown-Séquard (7), Budge et Waller (8), reproduisant la même expérience, furent amenés à une interprétation toute différente qu'ils donnèrent, chacun de son côté. D'après ces observateurs, l'élévation de température du côté de la section du grand sympathique est l'effet de la plus grande quantité de sang contenue dans ces parties par suite de la paralysie vasculaire : aussi la galvanisation du grand sympathique, en faisant contracter les vaisseaux, refroidit-elle les parties correspondantes par un mécanisme opposé à celui de la section. A cette occasion, Schiff (9) rappela ce qu'il avait dit sept ans auparavant, que l'augmentation de la chaleur s'expliquait par la dilatation paralytique des artères. Il ajouta que le grand

(1) *De vi motoria baseos encephali*, etc. Bockenhemii, 1845.

(2) *Paralyseos nervi trigemini*, p. 30. Francfort-sur-le-Mein, 1847.

(3) *Thèse physiologique sur l'influence du syst. nerv. ganglionn.* Berlin, 1847.

(4) *Mémoires de la Société de biologie*, année 1851, t. III, p. 163. — *Note sur l'influence du grand sympath. sur la chaleur anim.*, lue à l'Académie des sciences de Paris, le 29 mars 1852.

(5) *Observ. et expér. sur l'enlèvement des ganglions gutturaux des nerfs trisplanchniques sur des chevaux* (*Journal de* CORVISART, 1816, t. XXXVII, p. 340).

(6) *Zeitschrift für Physiol.*, von TIEDEMANN, etc., 1826, t. II, n° 1, p. 62, trad. dans *Journ. compl. des sc. méd.*, t. XXVI, p. 110.

(7) *The Medical Examiner*, août 1852, p. 489.

(8) *Comptes rendus de l'Acad. des sc. de Paris*, 1853, t. XXXVI, p. 378 et suiv.

(9) *Arch. de Tubingue*, 1854, et *Mém. de la Soc. d'hist. nat. de Berne*, 1856. — Ibid., *Untersuch. zur Physiol. des Nervensystems*, etc. Francfort-sur-le-Mein, 1855.

sympathique n'est pas le seul nerf vaso-moteur de la tête, mais que le rameau auriculaire, émané du plexus cervical, a aussi une grande influence sur les vaisseaux de l'oreille, et même sur les *contractions rhythmiques* signalées par lui dans ces vaisseaux chez le lapin.

Les nerfs dont nous avons parlé jusqu'ici ont pour effet, quand on les irrite, de produire la contraction des vaisseaux, c'est-à-dire que leur action rappelle celle qu'exercent les nerfs moteurs sur les muscles de la vie animale. Mais il existe d'autres nerfs dont l'influence est diamétralement opposée à la précédente : leur excitation détermine l'*élargissement des vaisseaux*. C'est dans l'étude toute récente de la circulation dans les glandes, que cette action singulière a été observée pour la première fois.

En 1851, Schiff (1), recherchant le rôle des nerfs dans les sécrétions, reconnut que la *corde du tympan* influence la sécrétion des glandes sous-maxillaires; que le fluide salivaire est sécrété abondamment quand on vient à couper ce cordon nerveux, tandis que si on le galvanise, la sécrétion se tarit. Il supposa donc que ces effets étaient dus à quelque influence de ce rameau nerveux sur les vaisseaux des glandes sous-maxillaires.

Les recherches ultérieures de Cl. Bernard (2) sont venues démontrer quelle est la nature de cette influence, en révélant d'autres faits. Les filets du nerf lingual qui se rendent à la glande sous-maxillaire exercent sur les vaisseaux de cette glande une action inverse de celle du grand sympathique : si on lie ou si l'on coupe ces filets du lingual, les vaisseaux se resserrent; si l'on en galvanise les bouts périphériques, les vaisseaux se relâchent. Plus récemment encore, Cl. Bernard (3) annonça que la glande parotide reçoit aussi des nerfs qui font dilater ses vaisseaux; ces filets proviendraient du rameau auriculo-temporal de la branche maxillaire inférieure.

Ajoutons que c'est vraisemblablement à titre de nerfs *vaso-moteurs du foie*, que les pneumogastriques réagissent sur cet organe, quand, en les irritant à leur origine, par la piqûre du plancher du quatrième ventricule, on produit le diabète. Sous l'influence de l'abord plus abondant du fluide sanguin et d'une circulation qui se fait plus largement, la matière glycogène contenue dans le foie se convertit *trop vite* en sucre qui, par cela même ne pouvant être utilisé entièrement, passe en partie dans les urines.

Toutes les influences nerveuses qui font varier le calibre des artères modifient la vitesse de la circulation sanguine, et conséquemment la température des parties auxquelles ces artères se distribuent. Cette circonstance a été mise à profit pour déterminer le trajet des nerfs vaso-moteurs à travers les cordons nerveux mixtes ou les racines sensitives des nerfs de la vie animale, et même des différents points de l'axe cérébro-spinal (*).

(1) *Arch. de Tubingue*, 1851.

(2) *Sur les variations de couleur du sang veineux des organes glandulaires suivant leur état de fonction ou de repos* (*Journal de physiologie de l'homme et des animaux*, 1858, t. I, p. 241).

(3) *Gazette médicale de Paris*, n° 13, 31 mars 1860, p. 197.

(*) SCHIFF notamment a entrepris de nombreuses expériences dans cette dernière direction (*Untersuch. zur Physiol. des Nervensystems*, Francfort-sur-le-Mein, 1855, et *Lehrbuch der Physiol.*, t. I, Lahr, 1858-59).

Vitesse du sang dans les artères.

Les phénomènes dépendants de la circulation artérielle que nous avons analysés jusqu'à présent (*pouls* et *mouvements des artères*) consistent en répartitions variées de la force motrice dans le liquide sanguin, abstraction faite de la translation de ce liquide depuis le cœur jusqu'à la périphérie. Lorsqu'on donne une impulsion au piston d'un long corps de pompe, le mouvement de la première tranche du liquide se transmet de proche en proche jusqu'à la dernière; mais chacune des tranches n'a cheminé que d'une faible quantité, quelle que soit la distance à laquelle le mouvement s'est propagé. De même, dans la circulation sanguine, quand une systole du cœur produit une pulsation à la fois dans l'aorte et dans une artère très éloignée, c'est bien le même mouvement qui s'est transmis de proche en proche dans toute la masse sanguine, mais ce n'est pas le même sang qui s'est porté dans toute cette étendue. Au moment où la pulsation est arrivée dans les points les plus éloignés, l'ondée ventriculaire est encore au voisinage du cœur, logée dans les régions initiales de l'aorte.

Essayons donc de reconnaître quelle est la *vitesse du sang dans les artères*, et de savoir si cette vitesse est la même dans toutes les artères. — Nous n'avons pas à revenir ici sur l'influence que l'élargissement progressif de ces vaisseaux, leurs différences de direction et de diamètre, la pesanteur, etc., exercent sur la rapidité de la marche du sang dans les voies artérielles (*).

La notion de la vitesse du sang dans les artères est une des plus difficiles à acquérir, à cause des nombreux éléments qui manquent à la solution du problème. On ne connaît qu'approximativement la capacité des ventricules : les injections solidifiables permettent, il est vrai, de mesurer les cavités du cœur avec assez d'exactitude; mais le cœur, à l'état de vie, est-il aussi dilatable qu'il l'est sur le cadavre? La force avec laquelle l'injection a été poussée est-elle égale à la pression sanguine, et n'a-t-on pas distendu le cœur outre mesure? Enfin, le ventricule se vide-t-il complétement à chacune de ses contractions, ou bien n'expulse-t-il qu'une partie du sang qu'il contenait? — Quand bien même on connaîtrait exactement la quantité de sang que le cœur envoie à chaque contraction, on n'en pourrait déduire que la vitesse du liquide à l'origine de l'aorte. Comme les voies artérielles vont en s'élargissant sans cesse, dans un rapport qui nous est inconnu, à une certaine distance du cœur, la vitesse serait déjà moindre à cause de cette dilatation.

C'est donc à l'expérimentation qu'il faut avoir recours pour évaluer la vitesse du sang dans un point donné du système artériel.

Toutes les vues théoriques que la physiologie ancienne nous a transmises, relativement à la rapidité du cours du sang dans les artères, pèchent par la base et sont tout à fait erronées. Hales crut pouvoir déduire la vitesse du sang de la hauteur à laquelle s'élève la colonne d'un manomètre adapté à l'artère. Il supposait que cette vitesse est égale à celle d'une molécule liquide qui tomberait d'une hauteur pareille à celle de la colonne manométrique. Dans cette évaluation, il ne tenait pas compte des résistances que le sang doit éprouver dans les vaisseaux, et qui rendent sa vitesse extrêmement petite, relativement à celle que Hales lui attribuait. Sauvages (1), son commentateur, corrigea cette erreur et établit une dis-

(*) *Voir ci-dessus, p. 812.*

(1) HALES, *Hæmastatique*, p. 3.

tinction entre la *vitesse virtuelle*, ou celle qu'aurait le liquide s'il s'écoulait librement sous une pression donnée, et la *vitesse actuelle*, ou celle que le sang possède réellement, et qui est inférieure à la première de toute la quantité que consomment les résistances.

Le discrédit dans lequel étaient tombées les applications de la physique à la physiologie empêcha plus tard cette question de faire des progrès. Haller (1), quelques années avant la publication des travaux de Sauvages, s'étonnait presque de voir que, si l'on ouvre une artère, il y a accélération du mouvement du sang, et dans l'artère même qu'on a ouverte et dans les autres qui se trouvent à une assez grande distance. La plupart des auteurs qui suivirent n'eurent guère de connaissances plus avancées sur ce point. Toutefois Spallanzani (2) comprit mieux qu'on ne l'avait fait avant lui les rapports qui existent entre la vitesse du sang et le diamètre des vaisseaux. Araldi (3) montra comment la vitesse du courant, dans les différentes parties du système artériel, n'est pas seulement influencée par les résistances locales, mais par tous les obstacles que rencontrera plus loin le sang, dont les tranches successives sont solidaires les unes des autres.

De nos jours, l'expérimentation fut remise en vigueur, et des appareils ingénieux furent construits surtout par les physiologistes allemands, dans le but de mesurer avec le plus d'exactitude possible la vitesse du sang dans une artère quelconque.

Fig. 30.

L'*hémodromomètre* fut inventé par A.-W. Volkmann. Cet instrument se compose d'un tube de verre recourbé en U et rempli d'eau; chacune de ses branches est munie d'un robinet à son extrémité. L'une de ces branches est adaptée au bout central d'une artère divisée, et l'autre au bout périphérique.

Les robinets, assez semblables à ceux que Babinet adapte à la machine pneumatique, s'ouvrent et se ferment tous deux à la fois. Lorsqu'ils sont tournés comme dans la figure 30, le sang passe à travers les deux robinets sans parcourir le tube en V, et les choses se passent comme si la continuité de l'artère *a u* n'était pas interrompue.

Fig. 31.

A l'instant où les robinets sont tournés en sens inverse, le sang est obligé de traverser le tube en U (fig. 31), suivant la direction indiquée par les flèches, en chassant du côté des capillaires l'eau dont ce tube était rempli. — Après un certain nombre de secondes, on ferme les deux robinets à la fois, et, d'après la longueur de la portion du tube où le sang s'est substitué à l'eau, on conclut à la vitesse du mouvement du sang.

Volkmann (4) trouva comme expression de la vitesse, pour une seconde, les chiffres suivants :

Chez le chien,	dans l'artère carotide.....	273	millimèt.
—	—	357	»
Chez le cheval,	dans l'artère carotide.....	254	»
—	— métatarsienne.....	56	»

(1) *Deux mémoires sur le mouvement du sang, etc.*, p. 114. Lausanne, 1756, in-12.
(2) *Expériences sur la circulation*, p. 259, trad. franç.
(3) *De l'usage des anastomoses dans les vaisseaux des machines animales*. Modène, 1800.
(4) *Die Hämodynamik*, p. 195. Leipzig, 1850.

Cet instrument, de l'aveu de son auteur lui-même, doit retarder un peu le mouvement du sang, d'abord à cause du changement brusque de direction que le courant éprouve en entrant dans l'appareil, et à cause aussi des nouvelles résistances qu'il crée en augmentant la longueur du tube que le sang doit parcourir. Enfin, l'eau contenue dans l'hémodromomètre, et qui, poussée par le sang, devra passer à travers les capillaires, y trouvera-t-elle les mêmes résistances que le sang lui-même? Toutes ces objections qu'on peut faire à l'instrument de Volkmann suffisent pour prouver que la vitesse du sang dans une artère ne saurait être mesurée avec une précision satisfaisante, à l'aide de ce moyen.

L'*hémotachomètre* (fig. 32) est dû à Vierordt. Il est formé d'une caisse quadrilatère étroite, comprise entre deux lames de verre et mise en communication par deux embouchures *a b* avec les bouts d'une artère coupée en travers. La caisse est remplie d'eau et porte à son intérieur un pendule qui se dévie plus ou moins lorsqu'un courant plus ou moins rapide de liquide le traverse. L'appareil étant appliqué au vaisseau, le sang s'y engage en se substituant à l'eau qu'il renfermait; une pointe d'argent adaptée au pendule et constamment appliquée à la paroi de verre permet de saisir l'amplitude de la déviation même, lorsque le sang remplit la caisse. On compte sur un quart de cercle divisé le degré de déviation du pendule, dont on déduit la vitesse du courant sanguin. A chaque afflux nouveau du sang dans l'appareil, le pendule se porte en avant pour revenir ensuite plus ou moins près du zéro.

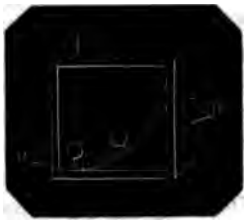


Fig. 32.

Ces indications intermittentes, analogues à celles d'un manomètre qui oscille, ne peuvent faire connaître que les maxima et les minima de vitesse du sang. Pour obtenir une indication des moyennes, Vierordt prolongea la tige de son pendule sous forme d'une aiguille qui va tracer ses oscillations sur un cylindre tournant, comme dans l'appareil de Ludwig (kymographion). La vitesse moyenne est obtenue alors d'une manière analogue à l'évaluation de la tension moyenne. — Vierordt (1) évalue à $0^{m},261$ par seconde la vitesse du sang dans la carotide : ce chiffre se rapproche assez de celui de Volkmann.

Toutes ces recherches, pour déterminer la *valeur numérique de la vitesse du sang artériel*, offrent un intérêt moins grand que l'étude des changements de tension dont il a été question plus haut. D'ailleurs il faut bien se rappeler que, d'un instant à l'autre, la rapidité du mouvement du sang dans une artère varie suivant que les petits vaisseaux qui dépendent de cette artère, en se dilatant ou se resserrant, offrent au passage du sang des résistances plus ou moins grandes.

Bruits artériels.

Le passage du sang dans les artères est accompagné de bruits variés qu'on perçoit en appliquant le stéthoscope sur ces vaisseaux. Ces phénomènes sont intimement liés à la vitesse du courant sanguin.

L'auscultation des artères y fait entendre plusieurs espèces de bruits bien dis-

(1) *Grundriss der Physiologie des Menschen*, p. 110.

tinction entre la *vitesse virtuelle*, ou celle qu'aurait le liquide s'il s'écoulait librement sous une pression donnée, et la *vitesse actuelle*, ou celle que le sang possède réellement, et qui est inférieure à la première de toute la quantité que consomment les résistances.

Le discrédit dans lequel étaient tombées les applications de la physique à la physiologie empêcha plus tard cette question de faire des progrès. Haller (1), quelques années avant la publication des travaux de Sauvages, s'étonnait presque de voir que, si l'on ouvre une artère, il y a accélération du mouvement du sang, et dans l'artère même qu'on a ouverte et dans les autres qui se trouvent à une assez grande distance. La plupart des auteurs qui suivirent n'eurent guère de connaissances plus avancées sur ce point. Toutefois Spallanzani (2) comprit mieux qu'on ne l'avait fait avant lui les rapports qui existent entre la vitesse du sang et le diamètre des vaisseaux. Araldi (3) montra comment la vitesse du courant, dans les différentes parties du système artériel, n'est pas seulement influencée par les résistances locales, mais par tous les obstacles que rencontrera plus loin le sang, dont les tranches successives sont solidaires les unes des autres.

De nos jours, l'expérimentation fut remise en vigueur, et des appareils ingénieux furent construits surtout par les physiologistes allemands, dans le but de mesurer avec le plus d'exactitude possible la vitesse du sang dans une artère quelconque.

Fig. 30.

L'*hémodromomètre* fut inventé par A.-W. Volkmann. Cet instrument se compose d'un tube de verre recourbé en U et rempli d'eau; chacune de ses branches est munie d'un robinet à son extrémité. L'une de ces branches est adaptée au bout central d'une artère divisée, et l'autre au bout périphérique.

Les robinets, assez semblables à ceux que Babinet adapte à la machine pneumatique, s'ouvrent et se ferment tous deux à la fois. Lorsqu'ils sont tournés comme dans la figure 30, le sang passe à travers les deux robinets sans parcourir le tube en V, et les choses se passent comme si la continuité de l'artère *a a* n'était pas interrompue.

Fig. 31.

A l'instant où les robinets sont tournés en sens inverse, le sang est obligé de traverser le tube en U (fig. 31), suivant la direction indiquée par les flèches, en chassant du côté des capillaires l'eau dont ce tube était rempli. — Après un certain nombre de secondes, on ferme les deux robinets à la fois, et, d'après la longueur de la portion du tube où le sang s'est substitué à l'eau, on conclut à la vitesse du mouvement du sang.

Volkmann (4) trouva comme expression de la vitesse, pour une seconde, les chiffres suivants :

Chez le chien, dans l'artère carotide.....	273	millimèt.
— —	357	»
Chez le cheval, dans l'artère carotide.....	254	»
— — métatarsienne.....	56	»

(1) *Deux mémoires sur le mouvement du sang, etc.*, p. 114. Lausanne, 1756, in-12.
(2) *Expériences sur la circulation*, p. 259, trad. franç.
(3) *De l'usage des anastomoses dans les vaisseaux des machines animales.* Modène, 1806.
(4) *Die Hämodynamik*, p. 195. Leipzig. 1850.

Cet instrument, de l'aveu de son auteur lui-même, doit retarder un peu le mouvement du sang, d'abord à cause du changement brusque de direction que le courant éprouve en entrant dans l'appareil, et à cause aussi des nouvelles résistances qu'il crée en augmentant la longueur du tube que le sang doit parcourir. Enfin, l'eau contenue dans l'hémodromomètre, et qui, poussée par le sang, devra passer à travers les capillaires, y trouvera-t-elle les mêmes résistances que le sang lui-même? Toutes ces objections qu'on peut faire à l'instrument de Volkmann suffisent pour prouver que la vitesse du sang dans une artère ne saurait être mesurée avec une précision satisfaisante, à l'aide de ce moyen.

L'*hémotachomètre* (fig. 32) est dû à Vierordt. Il est formé d'une caisse quadrilatère étroite, comprise entre deux lames de verre et mise en communication par deux embouchures *a b* avec les bouts d'une artère coupée en travers. La caisse est remplie d'eau et porte à son intérieur un pendule qui se dévie plus ou moins lorsqu'un courant plus ou moins rapide de liquide le traverse. L'appareil étant appliqué au vaisseau, le sang s'y engage en se substituant à l'eau qu'il renfermait; une pointe d'argent adaptée au pendule et constamment appliquée à la paroi de verre permet de saisir l'amplitude de la déviation même, lorsque le sang remplit la caisse. On compte sur un quart de cercle divisé le degré de déviation du pendule, dont on déduit la vitesse du courant sanguin. A chaque afflux nouveau du sang dans l'appareil, le pendule se porte en avant pour revenir ensuite plus ou moins près du zéro.

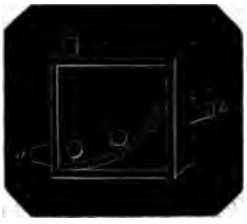


Fig. 32.

Ces indications intermittentes, analogues à celles d'un manomètre qui oscille, ne peuvent faire connaître que les maxima et les minima de vitesse du sang. Pour obtenir une indication des moyennes, Vierordt prolongea la tige de son pendule sous forme d'une aiguille qui va tracer ses oscillations sur un cylindre tournant, comme dans l'appareil de Ludwig (kymographion). La vitesse moyenne est obtenue alors d'une manière analogue à l'évaluation de la tension moyenne. — Vierordt (1) évalue à $0^{m},261$ par seconde la vitesse du sang dans la carotide : ce chiffre se rapproche assez de celui de Volkmann.

Toutes ces recherches, pour déterminer la *valeur numérique de la vitesse du sang artériel*, offrent un intérêt moins grand que l'étude des changements de tension dont il a été question plus haut. D'ailleurs il faut bien se rappeler que, d'un instant à l'autre, la rapidité du mouvement du sang dans une artère varie suivant que les petits vaisseaux qui dépendent de cette artère, en se dilatant ou se resserrant, offrent au passage du sang des résistances plus ou moins grandes.

Bruits artériels.

Le passage du sang dans les artères est accompagné de bruits variés qu'on perçoit en appliquant le stéthoscope sur ces vaisseaux. Ces phénomènes sont intimement liés à la vitesse du courant sanguin.

L'auscultation des artères y fait entendre plusieurs espèces de bruits bien dis-

(1) *Grundriss der Physiologie des Menschen*, p. 110.

tincts. Parfois le courant sanguin transporte avec lui des sons qui ont été formés dans le cœur, et qu'on peut reconnaître à leur timbre et à leur rhythme : on retrouve, dans ces cas, le bruit sourd de la systole ventriculaire, et l'autre plus clair, du claquement des valvules sigmoïdes. Ce ne sont pas là, à proprement parler, des bruits vasculaires. D'autres fois, les sons que l'on perçoit se sont réellement formés dans les vaisseaux ; ils peuvent alors présenter deux types distincts : tantôt le bruit est court, sec et fort, c'est un *bruit de choc ;* tantôt, doux et prolongé, il rappelle celui que fait l'air en s'échappant avec une certaine force à travers un tube, c'est le *bruit de souffle* proprement dit. Les cliniciens ont distingué les différences de timbre, de rudesse ou d'intensité de ces souffles, par des noms particuliers : *bruits de râpe, de soufflet, bruits sibilant, musical*, etc.

C'est à Laennec (1) qu'on doit les premières études sur cette partie de l'auscultation. Frappé de la fugacité de ces bruits qui, pour la moindre émotion morale, paraissent et disparaissent chez certains sujets, il pensa que leur production était intimement liée à une intervention nerveuse, et les attribua à un spasme des vaisseaux. Ni cette théorie, ni celles qu'on a proposées depuis Laennec ne rendent suffisamment compte de la formation des bruits artériels. Quoique la plupart des observateurs aient invoqué des causes mécaniques à l'appui de leurs hypothèses, on n'en constate pas moins que généralement leurs explications sont en désaccord avec les lois mêmes de la mécanique. Ainsi, lorsqu'il fut démontré que la chlorose, affection dans laquelle s'entendent à un haut degré les souffles vasculaires, s'accompagne de diminution du chiffre des globules sanguins, on pensa que les globules restants, plus écartés les uns des autres, entraient en collision, et que de leur choc provenait le bruit perçu. Vernois (2), supposant dans la même affection une diminution de la masse du sang, crut que le système artériel revenait sur lui-même, et que sa tunique interne, devenant trop longue, formait des plis saillants à l'intérieur, contre lesquels le sang frottait avec bruit. Beau (3) remarqua que, chez les sujets présentant des bruits artériels, le pouls est plus développé que de coutume. Cet observateur crut expliquer les deux faits à la fois, en admettant que le cœur envoie alors des ondées sanguines plus volumineuses que de coutume, et qui, précisément à cause de leur volume démesuré, donnent lieu à la fois à un pouls plus fort et à un frottement sonore dans les artères. Or, il est aujourd'hui reconnu qu'il ne se passe pas de frottements entre les parois d'un tube et le liquide qu'il contient. Si la clinique constate les faits, c'est à l'expérimentation physique la plus rigoureuse à fournir les éléments de leur théorie.

On s'accorde assez généralement sur les conditions physiologiques et les états morbides qui sont favorables au développement des bruits artériels : — ces bruits se rencontrent dans la chlorose, l'anémie, les cachexies, etc. ; — ils coïncident, en général, avec un pouls fort ; — l'exercice musculaire les développe ; — ils sont d'autant plus intenses et brefs, qu'on les observe sur une artère plus voisine du cœur ; — des bruits de souffle existent dans les tumeurs anévrysmales, dans les anévrysmes variqueux et certaines tumeurs érectiles.

Cherchant à résoudre la question du mécanisme de ces bruits, à l'aide d'expé-

(1) *Traité de l'auscultation médiate, etc.* Paris, 1819, t. II.
(2) *Études physiologiques et cliniques pour servir à l'histoire des bruits des artères*, thèse inaug. Paris, 1837.
(3) *Traité expérimental et clinique d'auscultation*, Paris, 1856, p. 407.

confirmation directe de la remarque clinique faite par Beau, qui signale le pouls fort et bref (*percutant*) comme s'accompagnant de bruits de souffle carotidiens.

Les idées de Chauveau sur la cause première du bruit sont entièrement acceptées par Marey, qui croit aussi à la formation d'une veine liquide dont les vibrations sont sonores. Cette veine ne se forme que dans le cas où le liquide est animé d'une très grande vitesse dans le point du tube où a lieu le bruit. Or, dans quelle circonstance le liquide prend-il cette grande vitesse? Les changements de calibre du tube n'amènent ce résultat, suivant Marey, que quand ils produisent des variations dans la tension du liquide; de telle sorte que, en amont du point où se forme le bruit, la tension soit beaucoup plus forte qu'en aval. La veine fluide rapide et vibrante se produirait alors par suite du changement de tension, absolument comme, dans une rivière, il se produit un courant violent et bruyant par suite d'un changement brusque du niveau de l'eau.

En appliquant cette théorie aux faits observés, on voit que, si l'on comprime un vaisseau ou un tube sous le stéthoscope, on crée en ce point un obstacle derrière lequel la tension s'élève, comme le niveau d'une rivière derrière un barrage. L'écoulement du liquide, dans la partie située au-dessous du lieu de la compression, y fait au contraire baisser la tension, et l'inégalité une fois produite, il s'établit, au niveau du point où elle existe, un courant rapide et sonore.

Dans le but de prouver que le changement du calibre du vaisseau, en ces points, n'est qu'une circonstance secondaire, Marey rapporte des expériences dans lesquelles le changement de calibre ne s'accompagne pas de bruit de souffle, parce que la tension n'a pas changé.

Chauveau, adaptant à l'artère carotide d'un cheval une ampoule de caoutchouc semblable à un anévrysme, obtint un bruit de souffle à chaque afflux de sang dans cette partie : les conditions du bruit de souffle anévrysmal étaient donc réalisées dans cette expérience. L'auteur conclut que, en pareil cas, le changement brusque du calibre du vaisseau est la cause du bruit. — Pour prouver que la véritable cause du souffle réside dans le changement brusque de la tension, Marey rappelle que les tumeurs anévrysmales, par l'élasticité de leurs parois, suppriment, à leur intérieur et dans les parties du vaisseau situées au-dessous d'elles, les inégalités de la tension artérielle que produisent les contractions du cœur; c'est ainsi qu'elles agissent pour faire disparaître, ou au moins pour diminuer beaucoup, le pouls des artères sur lesquelles elles se développent. Grâce à cette transformation du mouvement, les ampoules élastiques offrent à leur intérieur une tension sensiblement fixe, qui est la moyenne entre le maximum et le minimum; dès lors, au moment où une impulsion cardiaque portera à son maximum la tension du sang dans l'artère en amont de l'anévrysme, ce sang, en passant du vaisseau dans la poche, trouvera subitement une tension plus faible et prendra un mouvement rapide, duquel résultera le bruit de souffle. Si cette théorie est vraie, une ampoule non élastique et ne transformant pas les inégalités de tension, ne devra pas offrir de bruit; car la tension de cette ampoule suivra toute les variations de celle de l'artère. L'expérience prouve qu'une boule de verre, placée sur le trajet du tube dans les conditions précédentes, ne donne pas naissance au bruit de souffle.

Une autre expérience est propre à démontrer, d'une manière plus nette encore, l'importance fondamentale des changements de la tension dans la production des bruits. Si l'on prend un tube dans lequel coule un liquide, et qu'on le comprime

dans une pince avec une force déterminée, on voit que, pour faire successivement paraître et disparaître le bruit au point comprimé, il suffit de faire varier le diamètre de l'orifice d'écoulement situé à l'extrémité du tube. Si l'orifice d'écoulement est large, le bruit apparaît et se montre d'autant plus fort, que la tension s'est abaissée davantage en aval du point comprimé. L'ajutage d'écoulement est-il étroit, le bruit disparaît, parce que la tension s'élève en aval du point comprimé et se rapproche du degré qu'elle atteint en amont de ce point. On voit que, dans ce cas, l'influence de la tension a joué le rôle important dans la production des bruits, puisque en faisant varier cette tension, on les a fait paraître ou disparaître, l'état des diamètres du tube restant le même au point où le souffle existait.

Dans les anévrysmes artérioso-veineux et les tumeurs érectiles, on trouve une communication anormale entre le système artériel, qui a une tension forte, et le système veineux, qui a une tension faible; il en résulte, d'après cette théorie, un passage rapide du sang de l'artère dans la veine et une vibration sonore de la veine liquide.

Les bruits qui se passent aux orifices du cœur s'expliqueraient de la même manière : si, par exemple, un rétrécissement de l'orifice aortique donne naissance à un bruit de souffle à chaque systole, c'est que, le cœur déployant beaucoup de force pour lutter contre cet obstacle, le sang contenu dans le ventricule offre une tension considérable qu'il ne retrouve plus à son entrée dans l'aorte.—Dans certaines maladies, la forme des orifices n'a pas subi d'altération, et néanmoins il y a bruit de souffle, comme dans la chlorose, la fièvre, etc. Cela tient à ce que, dans ces affections, la tension artérielle est plus faible que de coutume, ce qui produit, à l'orifice aortique, l'inégalité de tension nécessaire à la formation du bruit.

Influences qui modifient la circulation artérielle.

La circulation artérielle est modifiée par des influences extérieures assez nombreuses. On a vu déjà comment la *pesanteur*, en agissant sur la colonne sanguine, accélère ou ralentit la rapidité du courant, suivant qu'elle agit dans le sens de l'impulsion cardiaque ou en sens contraire. — Des *pressions extérieures* peuvent, en effaçant plus ou moins le diamètre des artères, entraver le cours du sang. Dans ces circonstances, la circulation n'est pas nécessairement interrompue au-dessous du point comprimé : les anastomoses, que les artères échangent entre elles, sont des voies de rétablissement pour la circulation, et quand bien même l'oblitération d'une artère serait définitive ces anastomoses considérablement dilatées, fournissent bientôt au sang une voie nouvelle. Ces phénomènes se produisent mécaniquement par un simple effet de la nouvelle répartition du mouvement du sang. L'oblitération d'une des branches d'une artère augmente la tension dans toutes les autres branches nées du même vaisseau; sous l'influence prolongée de cette tension plus forte, ces conduits se dilatent peu à peu. Les anastomoses qui réunissent le vaisseau oblitéré à ceux qui sont restés perméables subissent la même dilatation, et finissent par laisser passer le sang en aussi grande abondance qu'avant l'oblitération de l'artère. — Ces obstacles définitifs au cours du sang artériel sont rares et rentrent dans le domaine de la pathologie; mais, à chaque instant, il survient physiologiquement des oblitérations temporaires des artères : la *contraction d'un muscle*, la pression d'un corps extérieur, l'*extension* ou la *flexion* forcée d'une

articulation, peuvent suffire pour déterminer momentanément l'arrêt du sang dans une artère.

La *respiration* exerce aussi une influence notable sur le cours du sang artériel, comme l'ont bien prouvé les expériences hémométriques. Lorsqu'en effet, un manomètre est appliqué à une grosse artère, les oscillations de la colonne de mercure présentent deux sortes de mouvements : l'un, faible et fréquent, se répète à chaque contraction du cœur ; l'autre, doué d'une amplitude beaucoup plus grande, s'observe à chaque nouvelle respiration.

Poiseuille a reconnu ces deux sortes de mouvements dans ses recherches. Ludwig les a retrouvés dans ses tracés obtenus à l'aide du *kymographion*, comme on peut le voir sur la figure 19 : les petites courbes sont dues aux battements du cœur, et les grands déplacements de leur ligne d'ensemble sont produits par les influences de la respiration.

Comment agissent les mouvements respiratoires pour modifier la circulation artérielle ?

On a coutume de comparer l'action aspirante et foulante de la poitrine au jeu d'un soufflet, et cette comparaison rend très bien compte de ce qui se passe. En effet, quand la poitrine se dilate sous l'influence des muscles inspirateurs, il s'y forme un vide, et l'air se précipite à travers la trachée et les bronches ; inversement, au moment où l'inspiration cesse, le retrait élastique du poumon chasse au dehors l'air contenu dans la poitrine : l'élasticité pulmonaire est secondée, dans les expirations fortes, par la contraction des muscles dits expirateurs. Dans ces deux états opposés d'ampliation et de resserrement de la cavité thoracique, les alternatives d'appel et d'expulsion ne portent pas seulement sur l'air extérieur qui est tour à tour inspiré et expiré, mais toutes les parties susceptibles de déplacement et voisines de cette cavité reçoivent, sous cette influence, des mouvements faciles à constater. Les espaces intercostaux se dépriment, les creux sus-claviculaires se prononcent davantage ; enfin, sauf les parties osseuses que leur rigidité empêche de céder à l'appel intérieur, tout subit l'influence de l'aspiration thoracique. Le sang, contenu dans les vaisseaux qui sortent du thorax, ne saurait échapper à cette influence. On verra, à propos de la circulation veineuse, avec quelle énergie l'aspiration s'exerce sur le cours du sang noir ; pour l'instant, il ne s'agit que de l'action des mouvements respiratoires sur la circulation artérielle.

Au moment de l'*inspiration*, l'appel du sang dans la poitrine fait baisser la tension dans les artères avoisinantes, et cet effet est de moins en moins sensible au fur et à mesure que l'artère qu'on observe est plus éloignée de cette cavité. Les effets de l'aspiration, très prononcés dans la carotide, sont presque nuls dans la radiale et tout à fait nuls dans les artères du métatarse par exemple. Ces différences sont faciles à concevoir. — Au moment de l'*expiration*, l'inverse se produit : les artères intrathoraciques sont comprimées extérieurement par la condensation de l'air dans la poitrine ; et cette pression, s'ajoutant à leur retrait élastique, contribue à pousser le sang avec force vers la périphérie. Un manomètre, adapté à une artère accuse cette augmentation de la pression d'une manière d'autant plus intense qu'on agit plus près de la poitrine.

Cette action aspirante et foulante de la cavité thoracique n'est pas à son maximum dans les mouvements ordinaires de respiration qui se produisent en effet sans un grand déploiement de force ; mais, dans les mouvements respiratoires exa-

gérés, comme quand on fait souffrir un animal sur lequel on expérimente, les influences de la respiration prennent une intensité beaucoup plus grande, et alors deviennent apparentes même dans des artères assez éloignées de la poitrine.

En appliquant son sphygmographe sur l'artère radiale, Marey a constaté que, dans les respirations normales, la ligne d'ensemble des pulsations est parfaitement rectiligne, comme le montrent les figures 27 et 28; c'est-à-dire que l'influence de

FIG. 33.

la respiration n'est pas sensible sur ce vaisseau trop éloigné de la poitrine. Si, au contraire, on fait des efforts énergiques de respiration, les influences respiratoires deviennent très sensibles même à la radiale, comme on peut s'en assurer par l'inspection de ce tracé (fig. 33), qui représente le pouls avant, pendant et après un effort d'expiration.

Ces phénomènes deviennent encore plus frappants chez les malades atteints d'une dyspnée considérable.

Dans l'*effort*, comme on le sait, il y a occlusion de la glotte avec tendance énergique à l'expiration. Toutefois l'air ne s'échappant pas du poumon, la compression de ce fluide dans l'intérieur de la poitrine arrive à un degré bien plus élevé, et ses effets sur la circulation sont beaucoup plus manifestes. On peut, en appliquant le sphygmographe sur l'artère radiale, constater que, pendant l'effort, la tension artérielle atteint un degré considérable: il y a élévation du niveau du tracé obtenu. Dès que l'effort a cessé, la pression intrathoracique retombe à son degré normal, et le sang refluant vers l'aorte, la tension baisse tout à coup dans les artères des membres et en particulier dans la radiale, comme l'atteste encore le tracé dû au précédent instrument.

En résumé, les artères sont chargées du rôle, aussi important que complexe, qui consiste à porter le sang depuis le cœur jusqu'aux points les plus périphériques de l'organisme. Ces vaisseaux n'ont pas seulement à remplir les fonctions de canaux de conduite, ils doivent aussi, par leurs propriétés physiques et organiques, transformer l'afflux intermittent du sang qu'ils reçoivent en un mouvement qui est continu, lorsqu'ils cèdent ce liquide aux vaisseaux capillaires; ils doivent, en outre, réglant leur calibre au moyen de la contractilité de leurs parois, porter à chaque organe une quantité de sang qui variera suivant ses besoins. Ces usages des vaisseaux artériels avaient été bien compris par J. Hunter qui, pour cette raison, avait désigné les artères sous le nom de *vaisseaux actifs*, par opposition aux veines qu'il appelait des *vaisseaux passifs*.

Il ne faudrait pas, toutefois, dépasser la pensée de l'illustre physiologiste anglais et attribuer aux artères un rôle réellement actif dans la propulsion du sang. La seule force impulsive émane de la pompe cardiaque: toute l'action des vais-

seaux se borne à modifier et à répartir ce mouvement primitif, en réglant les résistances qu'éprouve le passage du sang. Si la rapidité de la circulation est *favorisée* par l'élasticité de l'aorte et des grosses artères ; si le relâchement des vaisseaux plus ténus accélère le mouvement du sang dans le parenchyme des organes, *ce n'est pas en fournissant une impulsion supplémentaire*, c'est en consommant moins de la force du cœur.

Les caractères mêmes de la plupart des phénomènes annexés à la circulation artérielle montrent que ces phénomènes sont sous la dépendance de la force du cœur : le pouls, les souffles intermittents des artères, le jet saccadé qu'elles fournissent lorsqu'on les blesse, tout révèle l'influence de la contraction rhythmique des ventricules.

Il est vrai qu'à mesure qu'on s'éloigne du cœur, ces phénomènes tendent à disparaître, et c'est là sans doute ce qui a fait penser à divers physiologistes que l'action du cœur s'éteignait dans ces points. Nous savons à quoi tient cette suppression des précédents effets : liés aux variations que les systoles du cœur amènent dans la tension artérielle, ces effets devaient disparaître dès que cette tension a été ramenée par l'élasticité des artères à un état uniforme. Cette théorie trouve une démonstration péremptoire dans la production artificielle de pulsations et de bruits de souffle dans des tubes élastiques où coule un liquide sous l'influence d'une force unique, l'impulsion d'une pompe foulante.

Les actions étrangères qui modifient le cours du sang dans les artères ne sont pas non plus des adjuvants de la force du cœur. Le pesanteur exerce, à la vérité, une action favorable au cours du sang pendant la station verticale ; mais les pressions extérieures ne constituent jamais qu'un obstacle à ce courant. Quant à l'influence de l'inspiration et à celle de l'expiration, agissant tantôt dans le sens du cœur et tantôt en sens contraire, leurs effets se contre-balancent entièrement.

COURS DU SANG DANS LE SYSTÈME CAPILLAIRE.

I. — Les vaisseaux si ténus que doit traverser le sang pour passer des artères dans les veines sont désignés sous le nom de *vaisseaux capillaires*. C'est dans leur intérieur que ce fluide entre en conflit avec les tissus organiques, subvient à leur nutrition et à leur accroissement, tout en se chargeant lui-même d'autres substances que ces tissus lui abandonnent. De ces actions réciproques entre les organes et le sang, résultent, pour ce dernier, de profondes modifications après qu'il a traversé le système capillaire : si la circulation s'est faite dans des conditions normales, il présente alors les caractères distinctifs du sang veineux.

Placé entre les dernières ramifications des artères et les premières radicules des veines, le *système capillaire* se fond, sans aucune transition, avec ces deux ordres de vaisseaux. Les limites qui lui sont assignées par l'anatomie sont purement factices, et la physiologie serait fort embarrassée si elle devait déterminer le point précis où les vaisseaux ne sont plus seulement des organes de transport du sang, mais permettent à travers leurs parois un échange entre le sang et les tissus.

Depuis le moment où le passage du sang des artères dans les veines fut démontré, on fit différentes hypothèses sur la nature des voies de communication qui relient ces deux systèmes de vaisseaux. Convaincus de la nécessité d'un contact

bien intime du sang avec les organes, pour que la nutrition s'opère, beaucoup de physiologistes ont pensé que le sang s'infiltre dans les mailles des tissus, après avoir cessé d'être contenu par des parois membraneuses : telle était l'opinion de Pecquet (1), Mayow (2), etc. L'emploi du microscope vint montrer la continuité vasculaire qui existe entre les artères et les veines; mais, avant d'être généralement admise, cette vérité eut à subir bien des objections. Ainsi, dans le foie, dans les glandes salivaires, etc., il y avait, disait-on, épanchement du sang autour des lobules ; c'était une erreur que personne ne soutiendrait plus aujourd'hui. Une supposition moins facile à réfuter fut émise notamment par Dœllinger (3) et Wedemeyer (4). Le sang, d'après ces auteurs, serait à la vérité contenu dans des cavités tubuleuses très fines, mais celles-ci n'auraient pas de paroi propre et seraient creusées dans la substance même des organes. Le problème était d'une solution difficile, attendu que les parois des capillaires les plus fins ont une transparence parfaite, et que, partant, elles ne se distinguent point par des contours nets et tranchés. Il est néanmoins possible, même dans des cas de ce genre, de démontrer leur existence. Dans la membrane vasculaire du limaçon des oiseaux, par exemple, les capillaires forment un riche réseau. Or, comme l'a fait Windischmann (5), on peut parvenir, à l'aide de la macération, à dissoudre la substance interposée entre eux, et n'avoir plus que le lacis vasculaire dont les parois deviennent alors visibles. La même démonstration, qui a été faite par un procédé analogue pour les capillaires des reins, ne saurait l'être pour la plupart des autres tissus vasculaires ; mais l'analogie tend à faire admettre que les capillaires ne s'y comportent pas différemment.

Si, au contraire, on examine des vaisseaux d'un calibre plus ou moins fin, on y constate d'abord l'existence de noyaux granuleux, puis de cellules qui s'allongent en fibres ; celles-ci, s'intriquant en divers sens, forment ces couches distinctes si faciles à reconnaître sur les vaisseaux plus volumineux. C'est dans la dégradation insensible des éléments histologiques qu'on a cherché les bases de classifications des vaisseaux capillaires en divers ordres. La division la plus généralement acceptée est celle de Henle (6). Pour cet observateur, la première variété de vaisseaux capillaires est constituée par ceux dont le calibre est le plus fin (0,007 à 0,030 millièmes de millimètre); une seule tunique hyaline forme leur paroi. La seconde variété comprend les capillaires de $0^{mm},030$ à $0^{mm},060$; ceux-là ont deux tuniques, dont la plus superficielle est un rudiment de la tunique moyenne des artères, réduite quelquefois à la présence de noyaux dont le grand axe est transversalement dirigé. Enfin, la troisième variété renferme des capillaires de $0^{mm},060$ à $0^{mm},120$, qui offrent trois tuniques superposées : au-dessus des deux précédentes existe, en effet, une couche à fibres longitudinales, vestige manifeste de la tunique adventive des gros vaisseaux.

Ces notions sur la structure des capillaires se rattachent à l'importante question de leurs propriétés physiologiques : il s'agit de savoir si la *contractilité*, qui existe

(1) *Dissertatio de circulatione sanguinis*. Paris, 1651.
(2) *Opera omnia*. La Haye, 1681, p. 307.
(3) *Denkschriften der Akademie zu München*, t. VII, p. 179.
(4) *Untersuchungen über den Kreislauf*. Hannover, 1828, in-8.
(5) *De penitiori aurís structura in amphibiis*. Bonn, 1831.
(6) *Encyclopédie anat.*, t. VII, p. 21. — *Anat. génér.* de HENLE, traduction française de Jourdan.

d'une manière si manifeste dans les artérioles, se continue indéfiniment dans les divisions de plus en plus fines du système capillaire; ou bien si, lorsque la tunique moyenne vient à disparaître, la contractilité qui semble appartenir en propre à cette membrane disparaît en même temps. Cette supposition semble très vraisemblable, et tout porte à penser que, dans les vaisseaux les plus fins où la paroi est transparente ou semée de granulations amorphes, la contractilité n'existe pas, et que cette propriété apparaît tout au plus au moment où les capillaires présentent déjà des noyaux fibroïdes dirigés perpendiculairement à l'axe de ces vaisseaux.

Dans le schéma de Weber (*), le système capillaire est considéré, au point de vue du mouvement circulatoire, comme le siége des plus grandes résistances au passage du sang. C'est par un obstacle brusque au cours du liquide que le physiologiste allemand a cherché à imiter le rôle des petits vaisseaux. Mais cette grossière imitation ne représente l'action des capillaires que dans son résultat définitif, l'élévation de la tension dans le système artériel. Dans les vaisseaux sanguins, il n'y a pas de transition brusque entre les voies larges et les voies étroites; tous les changements s'opèrent graduellement, aussi bien pour le calibre que pour la structure. Ainsi, dans des artérioles qui sont énormes relativement aux capillaires du plus petit calibre, la vitesse du sang trouve déjà des obstacles notables. Il faut donc, au point de vue du mouvement du sang, s'abstenir de trancher la limite entre ces deux ordres de vaisseaux ; car, en physiologie, on ne saurait ici s'accommoder de la limite arbitraire posée par les anatomistes.

En étudiant la circulation artérielle, nous avons insisté sur la *direction des vaisseaux* dans ses rapports avec le cours du sang: c'est qu'en effet les changements brusques que subit cette direction ont une influence notable sur la vitesse du sang, à cause des forces vives qui se produisent dans ce liquide pendant son trajet intra-artériel. Mais, dans les vaisseaux capillaires, la lenteur du mouvement est telle que les changements de direction n'ont plus la même importance. Nous n'insisterons donc pas sur les mille variétés d'aspect que peuvent offrir les réseaux vasculaires, et que l'on s'est complu à décrire avec des désignations variées. Il faut néanmoins faire remarquer que la richesse des mailles que forment entre eux les capillaires n'est pas toujours la même, et que, partout où le sang doit passer en abondance, ces vaisseaux sont plus larges et plus nombreux : il en est ainsi dans les glandes, les muscles, la substance grise de l'encéphale, etc. Les vaisseaux capillaires sont rares, au contraire, dans les tissus dont les fonctions peu énergiques réclament une nutrition moins active.

Un des points les plus importants de l'étude de ces vaisseaux, est la question des anastomoses plus ou moins larges qu'ils établissent entre les systèmes artériel et veineux. Si le sang était forcé, dans son circuit, de traverser toujours les capillaires du plus petit calibre, il éprouverait des résistances considérables. Mais les communications entre les artères et les veines sont plus ou moins directes : dans certains cas, elles peuvent s'établir par des capillaires d'un fort volume, et d'autres fois même on aurait constaté qu'une artériole, visible à l'œil nu, se recourbe en anse et se continue avec une veinule (1). L'existence d'anastomoses plus ou moins larges produit, dans la circulation capillaire, des variations nombreuses du mouvement du

(*) Voir ci-dessus, p. 764.

(1) P. BÉRARD, *Cours de physiologie*. Paris, 1851, t. III, p. 759.

sang. La plus grande partie du liquide étant détournée par les voies les plus larges, le courant se ralentit dans les capillaires les plus ténus, il peut même survenir dans ces points des stagnations plus ou moins prolongées. On a expliqué par là comment des substances que le sang a tenues en dissolution se conservent dans certains organes glandulaires longtemps après qu'elles ont été éliminées du reste de l'appareil circulatoire.

Ajoutons que, d'après certains auteurs, il existerait d'autres capillaires plus ténus encore que ceux dont nous avons parlé. Ces vaisseaux ne pourraient donner passage aux globules sanguins, et seraient par conséquent invisibles à l'état normal ; car les capillaires les plus fins qu'on aperçoive sont précisément ceux qui laissent encore passer un globule de sang, et l'on ne constate leur existence que par le mouvement de globules qui se fait à leur intérieur. L'existence des *vaisseaux séreux* fut longtemps une simple conjecture basée sur ce fait, qu'une membrane parfaitement incolore peut, en quelques instants, s'injecter de sang et apparaître avec une coloration plus ou moins rouge. Dès lors il fallait admettre, disait-on, ou bien la formation presque instantanée de vaisseaux, ou bien la dilatation de petits capillaires qui ne se voyaient pas auparavant, parce qu'ils ne contenaient que la partie séreuse du sang ; cette dernière interprétation serait la seule admissible d'après ce que l'on sait de la lenteur avec laquelle les tissus se développent. Du reste, le dilemme n'est pas aussi rigoureux qu'il le semble de prime abord, puisque des vaisseaux peuvent très bien contenir quelques globules sanguins sans communiquer aux parties une coloration appréciable. Aussi l'existence des vaisseaux séreux fut-elle contestée par divers observateurs : E. H. Weber (1) surtout la combattit vivement, tandis que d'autres la défendirent en affirmant qu'ils avaient vu ces vaisseaux. Krause prétend, en effet, les avoir observés, et plus récemment Doyère et Quatrefages (2) assurent avoir réussi, par des injections très pénétrantes, à rendre visibles des vaisseaux dont le diamètre serait cinq fois moindre que celui des globules sanguins.

II. — Lorsqu'on place dans le champ du microscope une membrane mince et musculaire appartenant à un animal vivant, on peut contempler, à son tour, l'admirable spectacle observé pour la première fois, en 1661, par Malpighi (3) : *on voit le sang circuler dans les vaisseaux capillaires*. Le choix des tissus à employer n'est pas sans importance. Les grenouilles présentent, pour cette étude, plusieurs parties très convenables : la membrane interdigitale, le mésentère, la langue, la vessie, le poumon, etc. Le corps tout entier de très jeunes poissons se prête aussi à cet examen. Enfin, chez les animaux à sang chaud, on peut avec avantage employer le mésentère des souris, les embryons extraits d'œufs en incubation, etc.

La science est remplie des descriptions d'observateurs qui tous ont fidèlement parlé des mouvements variés et bizarres dont ils ont été témoins. Tous, en effet, s'accordent sur le fond, c'est-à-dire sur les résultats de l'observation ; mais, quand il s'est agi de se faire une idée des causes et de la nature de ces mouvements du sang, ils ont émis les opinions les plus divergentes. — Mentionnons d'abord ce que l'on observe :

(1) *Bericht über die Verhandlungen der Königl. Sächs. Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig*, 1846, t. III.
(2) *Journal de l'Institut*, 1847, p. 73.
(3) *De pulmonibus*, epist. II (*Opera omnia*, t. II).

Les différences de volume des capillaires influent beaucoup sur le mouvement du sang à leur intérieur. Dans les capillaires les plus larges, un courant rapide a lieu continuellement, et les globules sont entraînés avec une vélocité qui ne permet pas de distinguer nettement leur forme. Dans les plus petits vaisseaux, au contraire, les globules cheminent avec lenteur, souvent à une assez grande distance les uns des autres, et semblent, en effet, s'avancer difficilement et frotter contre les parois des vaisseaux. Suivant Leeuwenhoeck (1), Spallanzani (2) et beaucoup d'autres observateurs, ces globules sont quelquefois obligés de se déformer pour traverser ces étroites filières. D'autres fois, au milieu de l'intrication des vaisseaux et des directions variées de leur courant, on voit deux capillaires s'aboucher à un troisième, et des globules arrivant de directions opposées passer alternativement dans le capillaire unique qui ne les reçoit qu'un à un. Ailleurs c'est une pile de globules, distincts les uns des autres, et qui tous marchent avec la même vitesse, s'accélérant et se ralentissant tous à la fois. Dans d'autres points, on constate une complète immobilité par suite de quelque obstruction passagère ou de la direction contraire des courants ; puis tout à coup les globules se remettent en route. Quoiqu'on ait cru devoir décrire longuement ces spectacles si diversifiés, nous ne nous arrêterons qu'à certains détails qui ont une signification importante.

Dans les vaisseaux qui sont assez larges pour permettre le passage de plusieurs globules de front, on peut observer que tous les globules qui, à un moment donné, occupent une même tranche dans la colonne en mouvement, ne restent pas longtemps au même niveau, mais que les plus rapprochés de l'axe, animés d'une vitesse plus grande, laissent bientôt les autres en arrière. Ce fait, signalé déjà par Malpighi (3), Schreiber (4), etc., a été bien expliqué de nos jours par Poiseuille (5). Utilisant un phénomène physique connu, cet expérimentateur admet que les couches du liquide sanguin les plus rapprochées des parois des vaisseaux contractent avec ces parois des adhérences qui retardent leur mouvement. Une couche de liquide complétement immobile est fixée à la surface intérieure du conduit vasculaire ; en dedans de cette couche s'en trouve une autre qui glisse sur la première avec un mouvement très lent ; plus en dedans encore, le courant est plus rapide, et ainsi de suite jusqu'à l'axe du vaisseau où la vitesse est à son maximum.

De chaque côté de la colonne des globules en mouvement, les micrographes avaient signalé un double contour transparent que E. H. Weber (6) avait pris pour des lymphatiques qui longeraient le vaisseau. Poiseuille (7) montra que c'est une couche de sérum dépourvue de globules qui tapisse l'intérieur du vaisseau, et que l'immobilité de cette couche est la cause de l'absence des globules à son intérieur. Il suffit d'examiner pendant quelques instants le courant sanguin dans ces vaisseaux, pour comprendre comment se forme la couche transparente du sérum. Il arrive souvent qu'un des globules qui chemine au centre d'un capillaire se trouve poussé vers la paroi : un de ses bords s'engage plus ou moins profondé-

(1) *Ouvr. cit.*
(2) *Expériences sur la circulation*, p. 284.
(3) *De omento et adiposis ductibus*, p. 42.
(4) *Almagestum medicum*. Lipsiæ, 1757, in-4, p. 227.
(5) *Recherches sur les causes du mouvement du sang dans les capillaires*, p. 45 et suiv. (*Mém. des savants étrangers*, t. VII).
(6) MÜLLER'S *Archiv für Anat. und Physiol.*, 1837, p. 267.
(7) *Loc. cit.*, p. 144.

ment dans la couche immobile, ce qui tend à ralentir son mouvement ; pendant ce temps, l'autre bord est entraîné par le courant, et de là résulte un mouvement de rotation du globule qui se dégage pour reprendre sa marche. Lorsqu'un globule est plus profondément engagé dans la couche immobile, il y reste quelquefois fixé jusqu'à ce que le choc de quelque autre globule vienne le frapper par son bord libre, et, le dégageant ainsi, le rende à la circulation.

C'est donc la vitesse du courant sanguin à l'intérieur du vaisseau qui empêche les globules du sang de se tenir dans le voisinage des parois, et produit ainsi la couche transparente du sérum. Poiseuille en a donné la preuve en montrant que l'arrêt du cours du sang supprime cette couche transparente, et que réciproquement la largeur de cette couche est d'autant plus grande, que la vitesse du courant est plus considérable. Pour établir ce fait, Poiseuille se servit de petits cylindres de platine qu'il posait en travers sur les capillaires, de manière à oblitérer ces vaisseaux par compression. Il vit alors qu'aussitôt qu'on arrête le courant dans un rameau vasculaire, la couche transparente disparaît, et que les globules arrivent jusqu'au contact de la paroi. Si l'on ne fait que diminuer la vitesse du courant, la couche immobile est seulement diminuée d'épaisseur. Enfin, lorsque des changements du calibre d'un vaisseau capillaire donnent au courant intérieur des vitesses inégales, l'épaisseur de la couche transparente varie en sens inverse de la vitesse : elle est très faible dans les dilatations en ampoule, et très grande dans les points resserrés.

Ces mouvements singuliers des globules, sous l'influence de l'écoulement du sérum dans lequel ils nagent, ont été généralement bien observés, mais assez mal compris par beaucoup de micrographes. Le liquide qui les tient en suspension est invisible à tel point, que quelques auteurs ont nié son existence, et supposé que les globules roulent à sec dans les vaisseaux : dès lors il n'était plus possible de se rendre compte de ces étranges déplacements de chacun de ces petits corps sans invoquer des forces mystérieuses. Lorsqu'une série de globules qui ne se touchent pas chemine dans un vaisseau, quelle est la force qui les pousse, quel est l'agent qui leur imprime une direction, les fait s'arrêter, puis reprendre leur mouvement, s'attirer, se repousser, tournoyer sur eux-mêmes ?

Dédaigneux des forces physiques, quelques observateurs ont mieux aimé, comme Dœllinger (1), douer les globules du sang d'une spontanéité particulière, d'une sorte de vie propre, analogue à celle des infusoires. D'autres ont cru moins accorder à l'hypothèse en admettant une espèce de polarité des globules par suite de laquelle ils s'attireraient et se repousseraient. Au lieu de se mettre autant en frais d'imagination, s'ils avaient étudié, comme Poiseuille, les conditions hydrauliques de la circulation capillaire, comme lui aussi ils auraient vu que tout s'explique sans qu'il soit besoin d'avoir recours à ces forces mystérieuses dont les théories de la circulation ont été malheureusement encombrées.

Les lois du mouvement des liquides expliquent très bien aussi les directions si variées et si changeantes du courant du sang observées dans les capillaires. La disposition anatomique régit dans certaines limites le sens du courant. Ainsi, on voit les capillaires s'incurver pour se réfléchir du côté du système veineux : dès lors, dans deux vaisseaux juxtaposés, le sang pourra offrir deux directions opposées, sans cesser de marcher des artères dans les veines. Ailleurs deux capillaires de même

(1) *Sur la circulation du sang* (*Journ. des progrès des sc. méd.*, 1828, t. IX, p. 35).

direction s'envoient une arcade anastomotique : le courant pourra être nul dans cette dernière, si ses deux bouts reçoivent le liquide avec la même force d'afflux. Qu'un obstacle quelconque gêne la circulation dans l'un des deux capillaires, la pression de l'autre, devenant plus forte, déterminera la direction du mouvement dans la branche anastomotique.

On peut, d'une manière générale, considérer le mouvement du sang comme régulier dans les capillaires ; quand ces vaisseaux offrent un petit volume, l'élasticité du système artériel a suffisamment agi pour transformer l'impulsion intermittente du cœur et éteindre la saccade. Dans les petits vaisseaux, la continuité du courant est souvent empêchée par la présence des globules du sang : ceux-ci peuvent s'embarrasser entre eux au milieu de ces voies étroites, et fermer le chemin à une longue pile d'autres globules qui s'accumulent derrière eux, jusqu'à ce que les premiers se déplaçant, tous les autres reprennent leur cours. Ce sont là des phénomènes normaux dans la circulation capillaire, et ces petits encombrements passagers sont parfaitement compatibles avec l'intégrité de la fonction. Il est d'autres irrégularités de la circulation capillaire qui dénotent un trouble profond dans l'action du cœur.—Lorsqu'un animal s'affaiblit et va mourir, la circulation capillaire passe par des phases successives de décroissance avant de s'éteindre tout à fait. D'abord une saccade apparaît, chaque contraction du cœur provoque un redoublement dans la rapidité du courant sanguin qui se ralentit dans l'intervalle des systoles. A un degré plus avancé d'affaiblissement de l'animal, la circulation devient intermittente, et le sang ne progresse plus qu'au moment de la systole ; il s'arrête ensuite jusqu'à la prochaine contraction du cœur. Enfin, plus tard encore, le sang oscille presque sans progresser ; la contraction du cœur le pousse en avant, après quoi il rétrograde pour avancer encore, et ainsi de suite.

Haller (1) a très bien observé et décrit ces phénomènes de la circulation languissante ; Spallanzani (2) les a constatés pareillement, et Poiseuille (3) les a reproduits dans ses expériences. Quoiqu'on n'ait pas donné jusqu'ici une explication satisfaisante de ces saccades du sang dans les vaisseaux capillaires, personne ne peut douter que ce ne soit là un effet de l'impulsion cardiaque. On peut encore donner lieu à ce phénomène chez un animal dont la circulation s'effectue régulièrement : ainsi, chez une grenouille, il suffit d'interrompre le passage du sang dans la veine de la cuisse pour observer des saccades, puis des oscillations, dans les vaisseaux de la membrane interdigitale. Le mécanisme de leur production est alors facile à expliquer : chaque systole du cœur pousse le sang vers les veines, et celles-ci à leur tour ne pouvant, à cause de la ligature, se vider du sang qu'elles contiennent, réagissent par leur élasticité.

III. — *Les causes du mouvement du sang dans les capillaires* ont donné lieu à bien des controverses, Bichat (4) pensait que l'action du cœur s'arrête dans les artérioles, et que au delà de ces vaisseaux, c'est-à-dire dans les capillaires, le sang est mis en mouvement par des forces d'une autre origine. Il est difficile de comprendre sur quelles raisons il basait cette opinion. Serait-ce parce que le

(1) *Deux mémoires sur le mouvement du sang*. Lausanne, 1756, p. 88.
(2) *Expér. sur la circulation*, p. 156, 192, etc.
(3) *Recherches sur les causes du mouvement du sang dans les vaisseaux capillaires* (*Mém. de l'Académie des sciences de Paris*, 1835, Savants étrangers, t. VII, p. 141).
(4) *Anatomie générale*. Paris, 1801, t. I, p. 509.

mouvement du sang est continu dans les capillaires, ce qui ne semble pas compatible avec l'action intermittente du cœur? Nous savons aujourd'hui que l'élasticité artérielle produit cette transformation du mouvement, et qu'elle ne fait que changer la répartition d'une force initiale qui est tout entière déployée par le ventricule gauche. La meilleure raison que Bichat ait pu avoir pour attribuer à la circulation capillaire une cause différente de l'impulsion cardiaque, c'est la difficulté d'expliquer avec cette force unique et centrale les variations locales de la circulation dans ces petits vaisseaux. Bichat supposa donc que les capillaires sont doués d'une contractilité particulière, grâce à laquelle ils poussaient du côté des veines le sang que le cœur serait impuissant à conduire plus loin. Il est vrai que la contractilité des capillaires existe; mais telle qu'elle est, cette propriété ne saurait en rien donner au sang une impulsion nouvelle. P. Bérard (1) fait très judicieusement observer que, pour que la contraction agisse comme le voulait Bichat, il faudrait qu'elle fût rhythmique, alternant avec des relâchements qui permettraient aux vaisseaux de se remplir après s'être vidés; il faudrait, en outre, que le reflux du sang du côté des artères fût rendu impossible au moyen de valvules, et celles-ci n'existent pas. En définitive, la contraction des capillaires ayant une tendance égale au reflux du sang et à sa propulsion ne saurait en rien favoriser la circulation dans ces vaisseaux.

Cette critique s'applique également aux idées de Broussais (2) qui considérait les capillaires comme un cœur périphérique. La contractilité des petits vaisseaux joue assurément un grand rôle dans la circulation, mais ce n'est pas à titre d'agent d'impulsion ; c'est au contraire comme régulateur des résistances que le sang doit éprouver, suivant que le calibre des voies où il chemine est plus ou moins étroit.

La cause véritable du mouvement du sang dans les capillaires, c'est la force du cœur *transformée en tension artérielle*. Ce n'est pas à dire que cette influence soit absolument la seule : ainsi, la pesanteur peut, de même que pour les artères, exercer une influence favorable ou contraire au courant du liquide sanguin. En général, on a attribué aux actions physiques une trop grande importance: ainsi Poiseuille (3), observant que le froid ralentit la circulation capillaire et que la chaleur l'accélère, pensa qu'il n'y avait là qu'un effet physique de la chaleur sur le plus ou moins d'adhérence du sérum aux parois des vaisseaux ; que le froid augmentait cette adhérence et que la chaleur la diminuait. Dès lors, la couche immobile du sérum, devenant plus ou moins épaisse, rétrécissait plus ou moins la partie perméable aux globules.

Les forces qui chassent le sang à travers les capillaires étant signalées, il faut, pour compléter l'étude de cette circulation, indiquer les résistances qu'éprouve, dans ces vaisseaux, le courant qui les traverse. Ces résistances peuvent dépendre, d'une part, du diamètre des vaisseaux, et, d'autre part, de la nature même du fluide sanguin qui coule avec plus ou moins de facilité.

Le *diamètre des vaisseaux capillaires* peut éprouver des changements dont les causes sont variées. Les tuniques vasculaires ; étant élastiques, cèdent dans les cas où la tension intérieure est augmentée, et alors le vaisseau se dilate ; tandis qu'il se res-

(1) *Cours de physiologie*, t. III, p. 774.
(2) *Mém. de la Société médic. d'émulation*, t. VII.
(3) *Mém. et Rec. cit.*, p. 105.

serre si cette tension diminue. Mais il est aussi des variations actives du calibre des capillaires qui tiennent à la contractilité propre à ces vaisseaux ; et, en effet, sous diverses influences, on les voit se resserrer ou se relâcher pour devenir ainsi plus ou moins perméables au sang.

Les changements passifs du diamètre des capillaires sont les moins importants. On peut les démontrer en faisant intervenir la pesanteur dans la circulation : si une partie est placée dans une position déclive, la tension s'accroît, ses vaisseaux s'élargissent, et le cours du sang y devient plus rapide. Si l'impulsion du cœur augmente, le même phénomène a lieu, et, dans tout le corps, la circulation se fait avec plus d'activité. L'inverse se produit dans la syncope : le cœur cessant d'envoyer du sang, les artérioles et les capillaires reviennent sur eux-mêmes.

Enfin si, au moyen d'une ligature, on soustrait une artère à l'impulsion cardiaque, toutes ses branches et les capillaires qui en émanent se resserrent et se vident dans le système veineux. Cette dernière expérience était souvent répétée par Magendie, dans le but d'établir que les vaisseaux n'agissent dans la circulation que par leur élasticité. Mais rien ne prouve que, même dans ce cas, la contractilité ne soit pas venue joindre son influence à celle du retrait élastique.

L'existence de la *contractilité des capillaires* a été longtemps débattue. Bichat(1) l'admettait, avons-nous dit, mais il lui attribuait des caractères si étranges, que ses opinions sur ce sujet n'ont fait que donner plus de prise à ses adversaires. Déjà, avant Bichat, dans les doctrines médicales de Sydenham et de Cullen (2), on avait fait jouer un rôle important à la contractilité des vaisseaux capillaires. Hales (3) l'avait admise également et s'en servait pour expliquer le passage plus ou moins rapide du sang après l'injection de certaines substances dans le système vasculaire. De nos jours, les négations qui se sont élevées contre la contractilité des capillaires tenaient surtout à l'idée qu'on se faisait des limites exactes de ce système de vaisseaux. Les anatomistes, qui n'entendaient appliquer le nom de *capillaires* qu'aux plus petits des vaisseaux sanguins, s'appuyaient sur la trop grande simplicité de leur structure pour nier l'existence de la contractilité ; mais plus on se rapproche des branches artérielles, plus cette propriété devient incontestable, de l'avis de tous. Nous avons déjà vu comment Henle a tranché la question en ne refusant la contractilité qu'aux capillaires du plus petit calibre. Allant plus loin, nous dirons que, au point de vue physiologique, les limites du système capillaire doivent être beaucoup reculées. Quel est en effet le rôle que nous avons assigné à ces vaisseaux dans l'ensemble de l'appareil circulatoire ? Celui de régulariser la quantité de sang que doit recevoir un tissu, et de représenter un obstacle derrière lequel la tension artérielle devient considérable. Or, c'est surtout en remontant du côté des artérioles que ces effets se rencontrent ; les capillaires, aux yeux du physiologiste, comprendront donc aussi les artérioles ténues dans lesquelles le sang éprouve de notables résistances.

L'anatomie nous a appris que c'est le même élément contractile qui se rencontre dans les artères et leurs terminaisons capillaires ; c'est aussi la même espèce de contraction qui s'observe de part et d'autre. Les nerfs qui animent les capillaires sont ceux dont nous avons parlé assez longuement à propos des artères ; si le scalpel

(1) *Anat. générale*, t. I, p. 509. Paris, 1801.
(2) *Eléments de méd. prat.*, traduct. de Bosquillon. Paris 1785, t. I, p. 19 et suiv.
(3) *Hæmastatique*, p. 99, trad. franç. de Sauvages.

ne peut les suivre assez loin sur les vaisseaux, l'expérimentation physiologique a révélé leur influence. Il n'y a rien de spécial à dire ici au sujet de leur action; c'est toujours celle que nous avons décrite pour les artères, c'est-à-dire que certains nerfs président à la contraction des vaisseaux capillaires, et que d'autres en provoquent le relâchement.

Considérée en elle-même, et abstraction faite des influences nerveuses, la contractilité des capillaires offre à l'étude un très grand intérêt. Il s'agit, en effet, de déterminer le mode d'action de nombreux agents dont les uns font relâcher ces vaisseaux et dont les autres les font se contracter.

Depuis longtemps les physiologistes ont employé des substances chimiques ou des agents physiques appliqués sur les membranes dont ils étudiaient la circulation au microscope. Thomson (1), s'étant servi d'une solution d'ammoniaque, de sel marin, etc., vit que l'ammoniaque fait contracter les capillaires, tandis que l'eau salée les fait dilater. Wharton Jones (2) publia des études de même genre. Ces auteurs avaient pour but d'étudier les conditions anatomiques et physiologiques des petits vaisseaux dans les parties enflammées. Hastings (3), ayant fait un usage comparatif de l'eau chaude et de la glace, reconnut que le premier de ces agents dilate les petits vaisseaux, tandis que le second les contracte, etc.

En étudiant l'influence des actions traumatiques, Marey (4) institua des expériences qui permettent à chacun d'étudier sur soi-même la contractilité des petits vaisseaux. Pour juger de leur dilatation et de leur resserrement, il suffit d'observer les différentes colorations que prennent les téguments lorsqu'on les gratte avec plus ou moins de force: la pâleur est l'indice du resserrement des capillaires qui chassent le sang de leur intérieur, et la rougeur annonce le relâchement de ces vaisseaux qui se laissent distendre par le sang. Voici les expériences fort simples dont il s'agit :

— Si l'on passe sur un point des téguments (le dos de la main, par exemple) un corps mousse, en traçant une ligne, on chasse mécaniquement le sang des vaisseaux, et l'on a ainsi tracé une ligne pâle, exsangue, qui, une seconde après, a disparu; le sang est rentré dans les vaisseaux quand l'obstacle a cessé, et la peau a repris sa teinte normale. Regarde-t-on le même endroit vingt ou trente secondes après, la ligne blanche a reparu comme la première fois, mais plus persistante; elle dure quelquefois plus d'une minute.

Il paraît rationnel d'admettre, comme explication de cette *tache* ou *ligne blanche*, une contraction des vaisseaux qui réagissent contre l'excitation produite et chassent le sang de leur cavité, en laissant exsangue la partie impressionnée. C'est là une interprétation qui semble d'autant plus légitime, qu'elle est la plus simple et qu'elle a déjà des analogues dans la physiologie; elle ressemble beaucoup, en effet, au phénomène de contraction d'une artère coupée. Dans les deux cas, on voit un *retard* de la contraction sur l'impression, et une durée considérable de la contraction quand l'impression a cessé.

— Voyons ce qui se passe si l'on trace la ligne avec plus de force et avec un instrument aigu (le tranchant de l'ongle, par exemple), de manière à produire sur la

(1) *Traité médico-chirurgical de l'inflammation*. Paris, 1827, trad. franç., p. 56 et suiv.
(2) *On the State of the Blood and the Blood-Vessels in Inflammation* (GUY'S Hospital *Reports*, 2e série, t. VII, p. 10).
(3) *Entzündungsgeschichte der Schleimhaut der Lungen*, p. 63.
(4) *Ann. des sciences nat., Zool.*, 4e série, t. IX, p. 68 et suiv.

peau une impression vive et même un peu de douleur. Dans ce cas, un phénomène un peu différent se passe : une *ligne rouge* paraît sur le trajet de l'instrument, elle est limitée aux parties directement touchées et offre la largeur de l'instrument contondant. En même temps, de chaque côté apparaît un *liséré blanc* identique avec la ligne blanche décrite dans la première expérience.

« Que doit-on conclure de ce second fait, dit l'auteur de ces observations, si ce n'est que les parties qui forment le liséré blanc se sont trouvées en dehors du maximum d'action de l'instrument, et n'ont reçu d'excitation qu'une dose contre laquelle elles pouvaient réagir, tandis que pour les autres, plus fortement contuses, la contractilité des vaisseaux a été détruite par une action exercée, soit sur le tissu même, soit sur le système nerveux correspondant à la partie touchée. Dans l'une ou l'autre hypothèse, la rougeur est due à la perte de contractilité des vaisseaux. »

La contractilité vasculaire nous offre un point de ressemblance avec celle des muscles de la vie animale : c'est que la production même de la contraction l'épuise au bout d'un certain temps, de même que l'exercice d'un muscle amène sa fatigue et son affaiblissement momentané. L'analogie nous porte à chercher si l'exercice répété de cette force ne l'augmenterait pas à la longue, de même que l'exercice des muscles augmente la force musculaire et la résistance à la fatigue. — Or, on peut voir que précisément les influences traumatiques répétées rendent la partie qui les subit moins susceptible d'épuiser sa contractilité vasculaire. En voici des preuves :

— « Une excitation traumatique portée sur un point des téguments abrité d'ordinaire contre les contacts un peu durs (l'épigastre), et la même excitation portée sur un point qui se trouve dans des conditions inverses (la main), produit dans le premier point une trace rouge, et sur la main une trace pâle, c'est-à-dire épuise la contractilité dans le premier point et ne fait que la mettre en jeu dan le second. »

Ces expériences mettent en relief un caractère intéressant de la contractilité, en montrant l'influence inverse des excitants suivant qu'ils sont plus ou moins forts. Des effets analogues avaient été obtenus dans les recherches faites sur l'action des agents chimiques, et dans lesquelles les membranes vasculaires avaient été mouillées avec des solutions salines plus ou moins concentrées : une solution faible déterminait la contraction des vaisseaux, une solution forte leur dilatation.

Toutes ces variations du diamètre des vaisseaux, bien qu'elles aient pour cause immédiate une propriété physiologique de leurs parois, agissent sur le mouvement du sang d'après les lois physiques, c'est-à-dire que plus les vaisseaux seront dilatés, plus la rapidité de la circulation sera grande. Les assertions de plusieurs observateurs semblent en contradiction avec ces lois, mais il est bien établi aujourd'hui que le resserrement des petits vaisseaux ne produit jamais qu'une accélération du mouvement des globules en les faisant passer un à un dans les conduits qui auparavant en recevaient plusieurs de front : quant à la quantité totale des globules qui traversent un vaisseau, elle est toujours proportionnelle à son diamètre, si les conditions de force d'afflux sont identiques.

La *nature du sang* n'est pas non plus ici sans influence sur la vitesse du mouvement de ce fluide. Nous savons que, dans les capillaires les plus fins, les globules du sang sont obligés de se déformer pour s'accommoder au diamètre des conduits;

il en résulte nécessairement une résistance produite par des frottements véritables, et quand ce petit obstacle se répète à l'infini par le nombre même des globules ainsi engagés, il doit occuper une place importante dans la somme des résistances qu'éprouve le passage du sang. Aussi a-t-on expliqué par la variation du chiffre des globules, dans certains états pathologiques, les variations correspondantes qui se produisent dans la rapidité de la circulation. Peut-être serait-ce trop donner de valeur aux causes physiques que de croire, avec Poiseuille (1), que les substances injectées dans le sang influent sur son passage par une simple modification de sa fluidité. Cet auteur, il est vrai, a montré que, dans des tubes où coulent des liquides différents, certaines dissolutions salines passent plus vite que d'autres ; il a même remarqué que les sels dont la présence accélère le cours du liquide dans les tubes semblent accélérer aussi la rapidité du passage du sang dans les vaisseaux ; mais Poiseuille niait l'existence de la contractilité des capillaires, et nous pensons que cette propriété, que personne ne conteste plus, doit avoir, comme le supposait Hales (2), la plus grande part dans ces influences.

Les résistances qu'éprouve le passage du sang dans les capillaires dépendent encore des pressions extérieures qui tendent à diminuer ou à fermer complétement le calibre de ces vaisseaux ; on sait qu'il suffit d'exercer une pression sur un point des téguments pour en chasser le sang et décolorer ce point pour un instant : pendant tout le temps que dure la pression, la circulation n'existe plus. C'est pour cette raison que les pressions prolongées amènent la mortification des tissus. Il est pourtant une pression très énergique qui s'exerce perpétuellement sur tous les êtres vivants : c'est la pression atmosphérique. L'influence qu'elle peut avoir sur le cours du sang a de tout temps préoccupé les observateurs. Des troubles circulatoires apparaissent lorsqu'on s'élève en ballon à une assez grande hauteur pour que la pression atmosphérique soit notablement diminuée ; les mêmes accidents s'observent quand on gravit de hautes montagnes. D'autre part, Pravaz et plusieurs autres médecins, plaçant des individus dans des chambres où ils comprimaient l'air à l'aide d'une machine foulante, disent avoir obtenu des modifications considérables dans la circulation (3). Poiseuille (4) chercha à résoudre par l'expérience cette intéressante question : sur des animaux à sang froid, qu'il soumettait à une pression augmentée ou diminuée, il ne constata dans l'un et l'autre cas aucune modification du cours du sang. Spallanzani (5) avait déjà vu la circulation capillaire continuer régulièrement sur des animaux placés dans le vide presque complet. Comment concilier ces faits négatifs avec ceux que nous citions tout à l'heure ? Jusqu'ici il semble impossible de se prononcer sur ce sujet, dont la solution appelle de nouvelles recherches expérimentales.

On vient de voir combien d'influences diverses modifient la *vitesse du sang dans le système capillaire*. Ces variations si grandes, survenant principalement sous

(1) *Recherches expérimentales sur l'écoulement des liquides de nature différente dans les tubes de très petits diamètres* (*Ann. de chimie*, 3e série, 1847, t. XXI, p. 76). — *Recherches expérimentales sur l'écoulement des liquides, considéré dans les capillaires vivants* (*Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris*, 1843, t. XVI, p. 60).

(2) *Hæmastatique*, p. 99.

(3) PRAVAZ, *Essai sur l'emploi médical de l'air comprimé*. Paris, 1850, p. 37. — TABARIÉ, *Comptes rendus des séances de l'Acad. des sc. de Paris*, année 1838, t. VI, p. 896 ; année 1840, t. XI, p. 26.

(4) *Rech. expérim. sur les causes du mouvement du sang dans les capillaires*, p. 70.

(5) *Expériences sur la circulation*, p. 290.

l'influence de la contractilité de ces vaisseaux, devaient enlever aux physiologistes l'espérance de trouver jamais une évaluation numérique exacte de cette vitesse. Cependant beaucoup de tentatives ont été faites dans cette voie. En examinant au microscope le cours du sang dans la patte d'une grenouille, par exemple, on voit les globules animés d'une vitesse extrême ; mais, comme cette vitesse est exagérée par le grossissement même de l'instrument, il faut la soumettre à une réduction que le calcul indique. Mesure-t-on le temps que met un globule à parcourir un trajet d'une longueur connue, on peut arriver à en déduire la vitesse de son mouvement : c'est presque toujours ainsi que les observateurs ont procédé pour obtenir leurs diverses évaluations. Hales (1) était arrivé à un chiffre qui correspondait à environ $0^{mm},28$ par seconde ; depuis lors Weber (2) trouva $0^{mm},57$, Valentin (3) $0^{mm},50$, etc. Ces résultats, tout divergents qu'ils sont, démontrent au moins que dans les capillaires le cours du sang est très lent, comparativement à la vitesse qu'il présente dans les troncs et les branches artérielles. Ce fait, qui était facile à prévoir, résulte de la capacité même du système capillaire dont l'aire totale, comparée à celle de l'aorte à son origine, serait, d'après Donders (4), comme 500 est à 1 ; et, suivant Vierordt (5), comme 800 est à 1.

Ayant étudié la *circulation capillaire* en elle-même, ainsi que l'action propre aux petits vaisseaux, nous pouvons maintenant compléter notre examen du rôle qu'elles jouent dans l'ensemble de la circulation, et chercher à apprécier les résultats que la facilité plus ou moins grande des capillaires à se laisser parcourir par le sang produit, non-seulement dans un point isolé du corps, mais dans toute la circulation artérielle et jusque dans l'activité du cœur lui-même.

Toutes les fois que, dans une *région limitée* de l'économie, apparaît une variation spontanée de l'état circulatoire, cela tient à un changement dans l'état même des capillaires, changement provoqué par l'influence du système nerveux. Le relâchement d'un certain nombre de ces vaisseaux détermine la rougeur, le gonflement, l'élévation de température de la partie correspondante qui reçoit alors plus de sang dans un temps donné. Au contraire, le resserrement des mêmes vaisseaux y produit la pâleur, la diminution de volume, une sorte d'amaigrissement temporaire et un refroidissement notable, par suite de l'abord difficile du sang.

A chaque instant, le pathologiste se trouve en face de phénomènes de ce genre, qu'on cherchait autrefois à expliquer par des forces mystérieuses d'appel du sang dans les différents points du corps. Aujourd'hui, on admet assez généralement la précédente explication pour les anémies et les congestions locales.

A-t-on affaire à des variations générales de la circulation capillaire, c'est encore à la même explication qu'il faut avoir recours. Les deux états opposés, l'*algidité* et la *chaleur fébrile*, semblent dus, le premier à la contraction de tous les vaisseaux capillaires, et le second à leur relâchement. A cette occasion, Marey (6) fait remarquer la frappante analogie qui existe entre ces phénomènes et ceux que l'on peut constater *de visu*, en observant la circulation au microscope. Il n'y a, dans ces états, qu'une généralisation de ce qu'on voit se passer sur des points localisés

(1) *Loc. cit.*, p. 58.
(2) MÜLLER'S *Archiv*, 1838, p. 467.
(3) *Lehrbuch der Physiologie des Menschen*, t. I, p. 482.
(4) *Physiologie des Menschen*, t. I, p. 131.
(5) *Die Erscheinungen und Gesetze der Stromgeschwindigkeiten des Blutes*, p. 72.
(6) *Thèse inaug.* Paris, 1859, p. 93.

d'une membrane vasculeuse : ici le relâchement des vaisseaux succède à leur contraction comme effet secondaire; dans les maladies à deux stades, la fièvre vient toujours après l'algidité, dont elle est la conséquence. De part et d'autre, le même phénomène semble s'être produit : il y a épuisement de la force contractile des vaisseaux, il y a fatigue, pour ainsi dire, de leur élément musculaire.

En allant plus loin dans l'étude de l'ensemble symptomatique de l'algidité et de la fièvre, on peut trouver, dans l'état des capillaires, la cause de ce qui se passe alors du côté de la circulation veineuse et du côté de l'action du cœur.

Dans la fièvre, les artères sont plus grosses, plus molles au toucher, leurs battements sont plus énergiques, la trace sphygmographique de leurs pulsations donne des caractères spéciaux (Marey). — Tout cela résulte de l'affaiblissement de la tension artérielle, affaiblissement qui, à son tour, est une conséquence du passage plus rapide du sang à travers les capillaires dilatés. La chlorose offre souvent le même cortége de symptômes du côté de la circulation artérielle, et ce paraît être par suite de la faible tension et du passage plus rapide d'un sang moins riche en globules. Dans les précédentes affections, les artères offrent des bruits de souffle, dont la production est d'autant plus facile que la tension artérielle est plus faible. — L'algidité donnant lieu à des effets absolument inverses du côté de la circulation dans les artères, il serait inutile de montrer avec plus de détails que tous sont sans doute produits par la tension plus élevée qui résulte de la contraction des capillaires.

Dans la fièvre, le cœur battant plus vite, on pourrait supposer que les effets observés du côté des artères résultent de ce surcroît apparent d'activité du cœur. Mais, comme nous l'avons déjà vu (1), Marey admet, d'après ses expériences, que la fréquence des battements du cœur est réglée par les résistances que lui oppose la tension artérielle, et que, par exemple, plus cette dernière est faible, plus le cœur bat fréquemment sans dépenser, pour cela, plus de force que de coutume. Dans l'état fébrile, si la circulation est plus rapide ; si, par les capillaires, les artères et même par le cœur, il passe une masse de sang plus grande dans un temps donné, cela tiendrait donc, d'après cet observateur, non pas à un surcroît dans la force d'impulsion du sang, mais à une diminution des résistances du côté des capillaires. — On serait ainsi amené à considérer les petits vaisseaux comme chargés de régler la vitesse de la circulation, non-seulement dans le parenchyme d'un organe, mais encore dans l'ensemble de l'appareil sanguin.

COURS DU SANG DANS LE SYSTÈME VEINEUX.

Lorsque le sang a subi dans les capillaires généraux et dans les capillaires pulmonaires les changements qui résultent de la nutrition et de l'hématose, il revient de nouveau au cœur, et c'est le *système veineux* qui est chargé de ce transport centripète.

L'action du cœur est-elle pour quelque chose dans la progression du sang veineux ? On s'étonne de voir que cette question ait été autrefois si longuement discutée. Aujourd'hui, tout le monde reconnaît que c'est l'impulsion cardiaque qui, après avoir chassé le sang à travers les capillaires, préside encore, sous le nom

(1) Page 811.

de *vis à tergo*, au cours rétrograde de ce liquide dans les conduits veineux : mais si l'on se reporte aux idées qui régnaient dans la science à l'époque de Bichat ; si l'on se rappelle que ce dernier avait considéré l'action du cœur comme épuisée au niveau des capillaires, et avait doué ces vaisseaux d'une force impulsive nouvelle qui en faisait comme une sorte de *cœur périphérique*, on comprendra tout l'intérêt qui s'attachait à ce problème dans les premières années de ce siècle, et le service que les expériences de Magendie (1) ont rendu, en rectifiant l'opinion alors généralement admise en France.

Les démonstrations de cet expérimentateur (2) n'avaient rien que de bien simple. Il mettait à nu l'artère crurale d'un chien, et étreignait dans une ligature tout le membre, sauf ce vaisseau : dès lors, le sang continuait à affluer dans la patte, et, n'en pouvant plus revenir, distendait son système veineux. Si alors une piqûre était faite à la veine crurale gonflée, un jet de sang s'échappait tant que l'artère restait perméable ; tandis que, si une compression était établie sur ce vaisseau, on voyait le jet faiblir et s'arrêter lorsque les veines distendues étaient revenues sur elles-mêmes par leur élasticité. En cessant la compression de l'artère, on faisait presque immédiatement reparaître le jet par l'ouverture de la veine. — Pourtant ces expériences n'avaient pas pleinement satisfait les esprits. Le jet du sang veineux ne s'arrête pas aussitôt que l'artère est comprimée et que le cours du sang, dans le membre, est soustrait à l'action du cœur. On ne méconnaîtrait plus, de nos jours, cet effet de l'*élasticité* des vaisseaux qui, distendus par l'impulsion cardiaque, continuent le mouvement du sang en revenant sur eux-mêmes : c'est toujours la même action que nous avons vue déjà dans le système artériel où elle agit pour supprimer l'intermittence des afflux ventriculaires et rendre continu le cours du sang dans les petits vaisseaux.

Pour prouver que la force déployée par le cœur est capable d'agir sur le mouvement du sang jusque dans les veines, il aurait dû suffire de se rappeler les expériences de Hales, qui, sur un animal tué, poussait des injections dans les artères avec une force qui n'excédait pas celle du cœur : il voyait alors ce liquide revenir par les veines sans qu'on pût invoquer, pour produire ce retour, d'autre force que l'impulsion initiale.

L'action des systoles cardiaques est néanmoins bien réduite lorsque le sang arrive dans le système veineux ; elle a été en grande partie consommée par les résistances que les voies traversées ont déjà offertes au sang. Ces voies elles-mêmes, pouvant être plus ou moins étroites, à cause de la contractilité propre dont sont doués les petits vaisseaux, consomment plus ou moins de l'impulsion du cœur, de sorte que le *vis à tergo*, c'est-à-dire ce qui reste de force au sang qui a franchi les capillaires, est une quantité variable, très faible lorsque les capillaires sont resserrés, plus grande quand ils sont relâchés.

Une expérience de Cl. Bernard, déjà citée précédemment, met bien ce fait en évidence. Si, après avoir mis à nu les veines de la glande sous-maxillaire, on fait contracter les capillaires de cette glande en galvanisant les filets du grand sympathique qui s'y distribuent, on voit le sang ne plus revenir qu'en très petite quantité par les veines ; une ouverture faite à ces vaisseaux le laisse couler en nappe et très lentement. Au contraire, galvanise-t-on le filet de la corde du tympan qui fait

(1) *Mémoire sur l'action des artères dans la circulation*, lu à l'Académie des sciences de Paris en 1817, et inséré dans le *Journal de physiol. expérim.* Paris, 1821, t. I, p. 102.

(2) *Rec. cit.*, t. I, p. 111.

relâcher les capillaires, le sang s'écoule en abondance par les veines, et s'échappe en formant un jet semblable à celui d'une artère.

Ce qui se passe alors, en un point restreint de l'arbre vasculaire, peut exister aussi dans l'appareil circulatoire tout entier.

Plus le système capillaire sera étroit et difficile à se laisser traverser par le sang, plus aussi il y aura d'inégalité entre la tension artérielle et la tension veineuse. Ces deux tensions sont toujours en sens inverse l'une de l'autre, et c'est l'état des capillaires qui règle leurs différences.

La figure 34 fait comprendre ces variations toujours inverses des tensions artérielles et veineuses (1). Si l'on se reporte au schéma de Weber (*), on comprendra facilement ce qui se passe dans chacun des tubes de calibres différents qui représentent les systèmes artériel, capillaire et veineux. La pression dans chacun de ces tubes est indiquée par le niveau de piézomètres dans lesquels le liquide s'élève.

Soit un tube ACV, dans lequel on observe trois diamètres différents. Le courant se fait de A en V. La partie capillaire C peut être rendue à volonté plus ou moins large. Lorsque cette partie du tube qui correspond au système des vaisseaux capillaires est à son maximum d'étroitesse, la tension est grande dans la partie du tube qui correspond aux artères, ce qu'indiquent les niveaux des piézo-

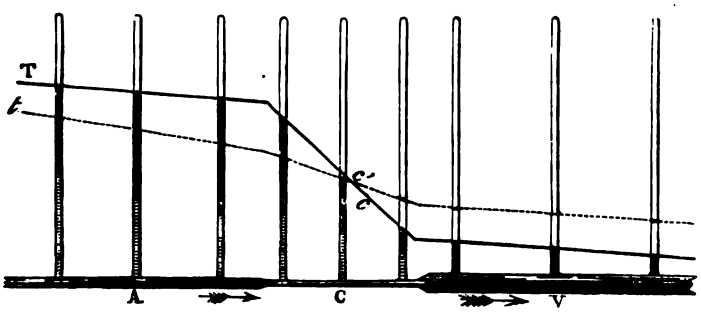


Fig. 34.

mètres situés sur la ligne T. — Les résistances font rapidement décroître la tension dans la partie capillaire C, comme l'indique l'obliquité de la ligne des niveaux en ce point. — Enfin, au niveau de la portion V du tube, la pression est très faible, précisément à cause des résistances qui se sont rencontrées dans le point C.

Remplaçons la portion C de l'appareil par un autre tube plus large, afin d'imiter les conditions du relâchement des vaisseaux capillaires, aussitôt nous verrons la pression changer dans toute la longueur des conduits, et les inégalités de cette tension tendront à disparaître. — Le système artériel A aura une pression moindre à cause des moindres résistances que le courant éprouvera au-dessous de lui. Les niveaux piézométriques se trouveront alors sur la ligne *t*. — La pression diminuera moins rapidement dans le système capillaire *c*. — Enfin, au niveau de la partie V, elle se trouvera à un niveau plus élevé que dans l'expérience précédente.

La grande capacité du système veineux produit à la fois et la faible tension

(1) Marey (*Journal de physiologie de l'homme et des animaux*, 1859, p. 430). La figure précédente est empruntée à cet auteur.

(*) Voir ci-dessus, page 761.

et la lenteur extrême du cours du sang dans cet ordre de vaisseaux. L'anatomie fait voir que les veines sont beaucoup plus nombreuses que les artères, chaque gros tronc artériel ayant assez ordinairement deux veines satellites dont le volume excède, pour chacune, celui de l'artère correspondante. Il existe de plus un grand nombre de veines qui n'ont pas de vaisseaux artériels qui leur correspondent : il en est ainsi de toutes les veines sous-cutanées, des sinus veineux de la dure-mère, de ceux du rachis, etc. Ajoutons que les veines sont extrêmement dilatables ; et de toutes les conditions qui leur donnent une énorme capacité, on arrivera aisément à déduire que la vitesse du sang devra y être plus faible que dans les artères, puisque les veines correspondent à une partie plus large du système vasculaire.

Une grande diminution de la force qui meut le sang dans les veines exposait leur circulation à bien des causes d'arrêt : la nature a obvié à cet inconvénient de plusieurs manières : d'abord en multipliant les voies par lesquelles le sang veineux peut être ramené au cœur, et aussi en ajoutant à l'action du cœur d'autres forces accessoires qui poussent le sang ou l'attirent du côté de cet organe. Des anastomoses nombreuses existent entre les veines ; aussi, dans le cas où un des troncs est oblitéré par une compression ou quelque autre obstacle, le sang revient-il par une autre veine. Si l'oblitération d'une veine est permanente, les voies anastomotiques se dilatent peu à peu et le sang finit par se frayer, une voie nouvelle aussi facile qu'avant l'existence de cet obstacle.

Le caractère le plus saillant de la circulation veineuse, c'est la multiplicité des forces qui concourent à la produire. On peut les rapporter surtout à l'action du cœur ou *vis à tergo* ; — à l'influence des valvules ; — à la pesanteur ; — à l'action musculaire ; — à l'aspiration thoracique.

1° Dans l'état normal de la circulation veineuse, le *vis à tergo* s'exerce sous forme d'une impulsion lente et continue ; dans les capillaires, déjà, les saccades sont éteintes par l'élasticité artérielle, à plus forte raison doivent-elles l'être dans le système veineux. Il y a pourtant des exceptions à cette règle : c'est ainsi que, dans l'expérience instituée par Cl. Bernard sur la glande sous-maxillaire, nous avons vu les veines de cette glande donner un jet saccadé, lorsque les vaisseaux capillaires, en état de relâchement, livrent un plus large passage au sang. Ce phénomène est dû à ce que la pulsation des artères n'a pas été supprimée par l'élasticité de ces vaisseaux, et c'est cette pulsation qui, conservée à travers les capillaires, se retrouve encore dans les veines. En effet, pour que l'élasticité des artères agisse et transforme le mouvement du sang, il faut qu'un obstacle résiste à la progression du liquide : c'est de cet obstacle que résultent la tension artérielle et, par suite, la transformation du mouvement saccadé en mouvement continu. Quand les capillaires sont relâchés, l'obstacle dont il s'agit n'existe plus, et comme nous l'avons vu, la tension artérielle s'abaisse : dès lors, l'élasticité des artères n'étant plus sollicitée, ne supprime plus la saccade, et celle-ci se retrouve jusque dans les veines.

La pathologie offre des exemples de phénomènes semblables. Sous le nom de *pouls veineux* (*), on décrit des pulsations que l'on constate sur les veines super-

(*) Il ne faut pas confondre ce *pouls veineux* avec le *reflux* qu'on observe quelquefois dans les veines jugulaires à chaque contraction du cœur, et qu'on a improprement désigné sous le même nom.

icielles, à la main par exemple, et qui sont en nombre égal à celui des battements rtériels sur lesquels elles retardent un peu. Les circonstances dans lesquelles ce ouls veineux se produit, montrent bien que, dans sa nature, il est identique avec elui des expériences sur la glande sous-maxillaire. Martin-Solon (1), Velpeau (2), Dubois (d'Amiens) (3) et Beau en France, firent des observations sur ces pulsations les veines, très visibles à l'œil, et quelquefois sensibles au toucher. En Angleterre, Graves et King (4) publièrent des faits du même genre. Ce dernier observateur arvint même à rendre les pulsations visibles sur les veines de sujets en pleine anté. A cet effet, il se servit d'un long fil de cire à cacheter étirée : l'une des extrémités de ce fil est fixée à la peau à l'aide d'une gouttelette de suif, et le fil repose ur la veine à la manière d'un levier du troisième genre. Chaque battement du aisseau se traduit par un soulèvement de ce fil rigide qui, grâce à sa longueur, reproduit le mouvement à son extrémité en l'amplifiant beaucoup. On voit, dans e procédé de l'auteur anglais, une ingénieuse application du principe qui plus ard a été mis en usage pour la construction des sphygmographes.

Les conditions dans lesquelles le pouls veineux a été observé, sont toujours elles du passage facile du sang à travers les capillaires. Les veines sont dilatées, c'est-à-dire que le sang, traversant facilement les voies qui les précèdent, leur arrive avec une assez forte tension (voy. p. 871, fig. 33).

Suivant Martin-Solon, on observe ce pouls chez les sujets qui, pour une raison quelconque, ont le sang peu plastique. On a vu, à propos de la circulation capillaire, comment cet état du sang rend son courant plus rapide, ce dont on a la preuve dans l'existence de tous les signes de la faible tension artérielle. Enfin, dans es expériences de King, on pouvait développer le pouls veineux sur un sujet sain en excitant sa circulation, par exemple, sous l'influence du repas. Or, dans ces conditions de rapidité plus grande du mouvement du sang, c'est encore la dilatation des vaisseaux capillaires qui intervient.

Il arrive quelquefois que, dans une saignée, le jet de la veine présente des saccades en nombre égal aux battements du pouls, et que le sang qui s'échappe par l'ouverture veineuse offre la rutilance du sang artériel. Dans ces circonstances, l'opérateur croit quelquefois avoir piqué une artère. Cependant il n'en est rien : les pulsations qu'on observe alors, et qui se passent bien réellement dans les veines, sont, de même que la rutilance du sang, une conséquence naturelle du passage trop facile à travers les capillaires. C'est à tort que divers auteurs ont pensé que la pulsation veineuse est due à la compression exercée sur les veines par l'expansion des artères placées à côté d'elles, et que cette pulsation se transmettrait de là aux veines plus éloignées. Cette explication ne saurait évidemment rendre compte de la rutilance du sang que projette la veine, rutilance qui, au contraire, s'explique très bien par le passage plus large que livrent au sang les petits vaisseaux. Enfin le doute n'est plus possible si l'on considère que les saccades de la veine retardent sur le pouls artériel, de telle sorte que, suivant P. Bérard (5), la saccade veineuse alternerait avec le pouls des artères. Ce retard est dû, comme

(1) *Sur le pouls veineux*, note lue à l'Acad. de médecine (*Gazette médicale de Paris*, 1844, p. 661).

(2) Séance de l'Acad. de méd. du 8 octobre 1844 (*Même rec.*, p. 662).

(3) *Ibid.*

(4) *An Essay on the Safety-Valve Function of the right Ventricle of the human Heart* (Guy's *Hospital Reports*, 1837, t. II, p. 107 et suiv.).

(5) *Cours de physiologie*, t. IV, p. 14.

celui du pouls dans les artères plus ou moins éloignées du cœur, à l'influence de l'élasticité des vaisseaux que le sang a traversés.

Les variations que les battements du cœur produisent dans la tension artérielle ne sont pas les seules qui retentissent jusque sur les mouvements du sang veineux. Les influences respiratoires élèvent et abaissent la tension dans les artères extra-thoraciques; cet effet a été expliqué précédemment (p. 854). Une expérience de Magendie (1) tend à démontrer que ces influences se font sentir dans la circulation veineuse en rendant le *vis à tergo* plus ou moins énergique, comme la tension artérielle elle-même. Si on lie les jugulaires d'un chien, et qu'on pratique au-dessus de la ligature une ouverture dans l'une de ces veines qui sont alors gonflées par le sang, on voit que le jet fourni par la veine triple ou quadruple de longueur dans les grands efforts d'expiration. Assurément, dans l'expérience précédente, l'augmentation de la tension artérielle a dû contribuer à l'accroissement du jet de sang veineux, mais les conditions des phénomènes étaient complexes. Ainsi toutes les veines n'avaient pas été liées, et le reflux veineux qui accompagne les effets d'expiration peut avoir retenti à travers les anastomoses jusque dans les jugulaires au-dessus de la ligature. En outre, dans tout effort violent, les muscles entrent en contraction synergique, et la contraction des muscles du cou a dû intervenir aussi pour augmenter la force du jet de sang veineux en vertu d'un mécanisme que nous aurons à examiner bientôt.

2° La plus importante des actions annexées à la force du cœur pour pousser le sang dans les veines, est celle qui résulte du *jeu des valvules veineuses*. Grâce à ces petites soupapes qui ne permettent au sang de cheminer que dans une direction, celle qui le ramène au cœur, la circulation veineuse tire parti d'une foule de circonstances qui, sans les valvules, seraient inefficaces pour la propulsion du sang. De même que, en l'absence des valvules du cœur, les contractions si énergiques des ventricules seraient perdues pour l'impulsion du sang dans les artères, de même aussi toutes les forces extérieures qui, pressant sur une veine, tendent à la vider du sang qu'elle contient, pousseraient indistinctement ce sang du côté des capillaires et du côté du cœur. Avec les valvules, au contraire, la contraction des veines, les pressions exercées sur elles par tous les contacts extérieurs, les contractions des muscles du voisinage, tout devient force impulsive; car toutes ces causes de déplacement de la colonne sanguine ne peuvent agir, dès lors, que dans la direction centripète.

Découvertes dans quelques veines par Cannani (2), en 1547, entrevues, avant lui, par Ch. Estienne (3), les valvules veineuses ne furent connues pendant longtemps qu'au point de vue de leur anatomie. Piccolomini (4), et plus tard Fabrice d'Acquapendente (5), les décrivirent avec soin; mais G. Harvey seul eut le mérite de comprendre leur mécanisme et de conclure de leur existence à la direction du sang dans le système veineux. On sait, en effet, que toutes les valvules des veines sont disposées de telle sorte qu'elles s'écartent pour laisser passer le sang qui,

(1) *De l'influence des mouvements de la poitrine et des efforts sur la circulation du sang* (*Journal de physiol. expérim.*, 1821, t. I, p. 137).

(2) Lettre à AMATUS LUSITANUS, *Curationum medic. cent. prima*, in-8, p. 258. Florence, 1551.

(3) *De dissectione partium corporis humani libri III*, p. 184, 357. Paris, 1545.

(4) *Anatomicæ prælectiones*, p. 412. Romæ, 1586.

(5) *De venarum ostiolis*, p. 1 (*Opera omnia anat. et physiol.*, édit. 1738, p. 150, pl. 1 à 8).

des capillaires, revient vers le cœur: elles se rapprochent, au contraire, et se ferment en s'adossant toutes les fois que le sang tend à rétrograder. La forme des valvules veineuses est à peu près celle des valvules sigmoïdes de l'aorte ou de l'artère pulmonaire; seulement il est rare qu'on en rencontre qui présentent trois culs-de-sac adossés comme dans ces artères, le plus souvent il n'y en a que deux, même dans les gros troncs veineux, et un seul dans les plus petits. Toutes les veines ne possèdent pas des valvules: celles-ci manquent, suivant Haller (1), dans les vaisseaux qui ont moins d'une ligne de diamètre. Mais l'anatomie moderne a reculé ces limites: Sappey (2) a trouvé des valvules dans les veines ciliaires antérieures, et dans celles des muscles de l'œil. Dans certains points de l'économie, de gros vaisseaux veineux sont normalement dépourvus de valvules: tels sont, tout le système de la veine porte, les veines pulmonaires, les veines caves supérieure et inférieure, etc.

En résumé, les valvules existent principalement dans les veines qui sont en rapport avec le système musculaire; elles sont plus abondantes dans les veines profondes des membres que dans les veines sous-cutanées. On peut néanmoins constater la présence de valvules dans ces derniers vaisseaux, à l'aide d'une expérience facile à faire sur soi-même. Lorsque les veines du dos de la main, par exemple, sont gonflées par le sang, si l'on passe le doigt sur elles de manière à pousser le sang du côté du cœur, on voit, après qu'elles ont été vidées par cette pression, le sang qui revient des capillaires les remplir de nouveau; tandis que, si l'on pousse le sang dans la direction des capillaires, on voit au contraire les veines se distendre au-dessous de l'obstacle et rester vides au-dessus, ce qui montre bien que le courant rétrograde ne peut s'opérer. Enfin, dans certains cas, on reconnaît le lieu précis où existe une valvule à ce que la veine dans laquelle on refoule le sang en sens inverse de son courant normal ne se gonfle que jusqu'à un certain endroit où un obstacle s'oppose au reflux : cet obstacle, c'est la valvule.

C'est presque toujours à des sources étrangères à l'appareil circulatoire que le sang veineux emprunte l'impulsion que les valvules dirigent. Ainsi les frictions ou le massage des membres favorisent le retour du sang par les veines, ce dont on peut s'assurer dans l'opération de la saignée. La même chose arrive quand un muscle, traversé par une veine, entre en contraction : aussi a-t-on utilisé cette circonstance dans la saignée pour accélérer l'écoulement du sang par la veine ouverte, et a-t-on l'habitude de faire faire au patient des mouvements des doigts. L'impulsion nouvelle que la contraction des muscles imprime au sang veineux a pour effet d'accélérer le courant circulatoire dans tous les vaisseaux qui les traversent, et cette circulation augmentée est elle-même une condition nécessaire à la fonction des muscles, de telle sorte que l'activité musculaire et l'activité circulatoire se prêtent un mutuel secours.

Les parois des veines, comme celles des artères et des capillaires, sont douées de *contractilité*. Lorsqu'une veine revient sur elle-même, les valvules dirigent le sang expulsé du côté du cœur, de telle sorte que la veine pousse le sang à la manière d'un cœur véritable ; mais cette contraction des veines ne se fait qu'à de rares intervalles, elle se produit lentement à la manière de la contraction des artères, et comme elle, survient en général sous l'influence d'un stimulus. Il faudrait répéter

(1) *Elementa physiologiæ*, t. I, p. 115.
(2) *Traité d'anat. descript.*, t. II, p. 671.

tout ce que nous avons dit à propos des artères, pour indiquer l'action qu'exercent sur la contractilité des veines les différents stimulants : le traumatisme, le chaud et le froid, l'électricité, etc.

Dans quelques espèces animales, on observe sur certaines veines une contraction rhythmique : ainsi, sur l'oreille du lapin, on voit un élargissement et un resserrement alternatifs de tous les vaisseaux (Schiff). Mais c'est surtout dans le voisinage du cœur que la contractilité rhythmique des veines se retrouve chez la plupart des animaux. Il semble que la structure et les propriétés des vaisseaux se modifient graduellement comme pour préparer, par une transition moins brusque, le passage de ces veines à l'oreillette et au ventricule.

Il y a deux siècles que Walæus (1) reconnut, sur le chien, des pulsations rhythmiques des veines caves dans le voisinage du cœur, et qu'il annonça que ce n'était pas des battements communiqués par les contractions cardiaques. Depuis lors, Nic. Stenon (2) les observa sur d'autres animaux (le lapin, le cheval, le corbeau). Sur les veines pulmonaires d'un chat, qu'il avait excisées, Allison (3) vit des battements rhythmiques pendant plusieurs heures. Il dit avoir observé le même fait sur d'autres mammifères et sur des oiseaux. A mesure qu'on étudie des animaux plus inférieurs, on trouve la contractilité plus répandue dans le système veineux. Chez les reptiles et les batraciens, les veines ont un rôle très actif dans la circulation. Haller (4) a entrevu les contractions de la veine cave chez la grenouille. Spallanzani (5) signala aussi des battements dans ces veines, et vit qu'ils continuaient lorsque le cœur avait été séparé de ces vaisseaux. C'est surtout Flourens (6) qui démontra l'activité du système veineux chez les vertébrés inférieurs; mais, malgré les expériences qui viennent d'être rapportées, il se crut autorisé à rejeter l'existence de contractions rhythmiques dans les veines caves chez les animaux plus élevés.

3° La *pesanteur* agit sur le cours du sang veineux : on peut facilement s'en convaincre en plaçant alternativement un bras dans la position déclive et dans l'élévation. Dans le premier cas, les vaisseaux gonflés annoncent la stagnation du sang; dans le second, les veines se vident presque immédiatement, par suite de l'écoulement facile du sang du côté du cœur où la pesanteur l'entraîne. Nul doute que dans des mouvements alternatifs d'un membre qui rendent la pesanteur tantôt favorable, tantôt contraire au retour du sang veineux, les valvules n'aient une action efficace à la propulsion, en permettant tous les mouvements centripètes, et en s'opposant au reflux. Mais dans l'état d'immobilité d'une partie déclive, peuvent-elles, comme on l'a dit, contre-balancer l'action de la pesanteur ? — Qu'on se figure tout le système veineux inférieur rempli et distendu par le sang, depuis l'embouchure de la veine cave inférieure jusqu'aux dernières radicules veineuses des pieds : si la moindre quantité du sang passe à travers les capillaires pour pénétrer encore dans ces vaisseaux veineux, ce ne sera qu'en soulevant toute la colonne sanguine qu'ils renferment, et sous l'influence de ce mouvement, les valvules s'ouvriront; elles n'empêcheront donc plus chaque tronçon de la colonne sanguine de peser sur le

(1) *Epistola ad* Gasp. Bartholinum *de motu chyli et sanguinis*, 1660 (*Opera medica omnia*, p. 254).
(2) *Acta medica Hafniensia*, 1673, t. II, obs. 16, n°s 7-12, p. 143.
(3) *American Journ. of Medical Sciences*, 1838, n° 45, t. XXIII, p. 318.
(4) *Mémoire sur le mouvement du sang*, p. 310.
(5) *Expér. sur la circulation*, p. 199 et 361.
(6) *Ann. des sciences nat.*, 1833, t. XXVIII, p. 65.

tronçon sous-jacent. En définitive, dans cette circonstance, la pression produite par la pesanteur sera la même que si les valvules n'existaient pas. P. Bérard (1) a bien signalé cette difficulté de la théorie des valvules : « Après vingt-quatre ans de méditation sur ce sujet, dit-il, je ne suis pas parvenu à me faire une idée nette de ce que croit comprendre si bien un élève de première année. » C'est qu'il est absolument impossible que les valvules toutes seules déploient une puissance quelconque pour faire progresser le sang et pour lutter contre la pesanteur. En vain a-t-on voulu leur attribuer une structure musculaire et une force propre ; en réalité, elles ne sont que des soupapes inertes, et n'agissent qu'à la condition qu'une force étrangère vienne pousser le sang auquel elles ne font qu'imprimer une direction. Alors seulement l'ascension du sang peut avoir lieu dans le système veineux des membres inférieurs, sans que les vaisseaux les plus déclives supportent la charge de la colonne sanguine tout entière.

4° C'est à l'*action musculaire* que la force motrice qui ramène le sang veineux est surtout empruntée. Les tronçons veineux, n'étant pas remplis par le sang jusqu'à leur distension complète, forment, les uns au-dessus des autres, des étages distincts dans lesquels le sang s'accumule au point le plus déclive, c'est-à-dire immédiatement au-dessus de la valvule qui les clôt par en bas; qu'à ce moment un des tronçons soit pressé par la contraction d'un muscle voisin, il se vide par la seule voie possible, c'est-à-dire par en haut, et ne rencontre d'autre résistance que celle de la petite colonne qui occupe seulement les parties déclives du tronçon supérieur. Dès que le muscle est relâché, le tronçon veineux qui s'est vidé offre une voie facile à l'arrivée du nouveau sang, si quelque contraction musculaire vient comprimer à son tour la partie du vaisseau située au-dessous de lui.

La pathologie confirme cette manière de comprendre le jeu des valvules : on sait que les professions qui exigent qu'on se tienne debout pendant longtemps sans marcher, comme celles d'imprimeur, de blanchisseuse, etc., produisent presque constamment les varices des jambes ; tandis que les professions qui obligent à marcher pendant un temps souvent beaucoup plus long que ne dure la station dans les cas précédents, n'occasionnent pas le même accident. Cela tient à ce que, dans le premier cas, en l'absence de contractions musculaires, rien n'est intervenu pour empêcher la colonne de sang veineux de peser sur les vaisseaux des pieds et des jambes ; et, sous l'influence de cette pression continuelle, ces vaisseaux se sont laissés dilater.

Cette subordination presque absolue des valvules à l'action des muscles explique assez bien leur répartition dans les différents points du système veineux. Elles manquent, en effet, dans les veines qui traversent les grandes cavités dans lesquelles la pression est constante ou varie partout de la même manière, de telle sorte que cette pression augmentant ou diminuant à la fois sur tous les points du vaisseau veineux, ses effets se contre-balancent. Les valvules sont, au contraire, extrêmement abondantes dans les veines qui traversent ou longent les grandes masses musculaires. Si on les rencontre aussi dans les veines sous-cutanées, c'est que le gonflement des muscles en contraction comprime ces veines entre l'aponévrose et la peau, et qu'enfin les veines superficielles, communiquant par des anastomoses avec les vaisseaux plus profonds qui traversent les muscles, reçoivent à chaque instant des afflux intermittents qu'il fallait diriger vers le cœur.

(1) *Cours de physiologie*, t. IV, p. 47.

Celles des forces que nous venons d'énumérer, et qui déjà concourent à pousser vers le cœur le sang contenu dans les veines, donnent à ce fluide une *tension* comme l'impulsion cardiaque en donne une au sang artériel. Ces deux tensions diffèrent néanmoins beaucoup l'une de l'autre. Ainsi, celle des artères est, en général, forte et répartie d'une manière assez uniforme dans tout le système des vaisseaux à sang rouge, pourvu que l'on compare des vaisseaux d'un volume sensiblement égal. Au contraire, la tension veineuse, en général très faible, varie d'un vaisseau à l'autre d'une manière notable, et même pour une veine donnée, peut présenter, d'un moment à l'autre, de très grandes variations, suivant que les forces accessoires qui servent à la propulsion du sang veineux agissent ou non. Une cause importante des différences de ces deux tensions est l'inégale élasticité des artères et des veines. Tandis que les premières résistent à l'abord du liquide sanguin qui les distend, les veines cèdent presque indéfiniment à l'afflux de ce liquide, et se prêtent avec la plus grande facilité à un contenu plus abondant que de coutume, sans que leur tension en soit bien sensiblement augmentée. Aussi a-t-on attribué aux veines non-seulement la mission de transporter le sang de la périphérie au cœur, mais encore celle de le loger à leur intérieur toutes les fois, par exemple, que l'absorption d'une grande quantité de liquide vient augmenter la masse sanguine. Outre cette influence de la facile dilatabilité des vaisseaux veineux et de la capacité considérable de leur ensemble, la principale cause de leur faible tension, c'est que le sang qui les parcourt n'éprouve pas devant lui de résistance importante : en effet, on ne trouve pas, sur le trajet des veines, un obstacle analogue à celui que les capillaires présentent au-devant du sang artériel.

Malgré les grandes variations qu'offre la tension veineuse, plusieurs auteurs ont essayé d'en donner une mesure manométrique. Il ressort de ces évaluations que la pression du sang veineux est beaucoup au-dessous de celle du sang artériel dans la majorité des cas. Ainsi, Volkmann, comparant la pression de l'artère carotide à celle de la jugulaire, trouva, pour l'artère, une moyenne de 165^{mm},55; la veine n'avait que 27^{mm},5. Cette dernière pression, à son tour, était encore bien supérieure à celle de la veine métatarsienne; celle-ci, en effet, n'était que de 9 millimètres. Dans toutes les évaluations de la pression veineuse que les auteurs ont consignées dans leurs recherches, on trouve des écarts considérables; aussi ne nous attacherons-nous pas à reproduire ces chiffres, mais seulement à signaler les causes qui font varier la tension veineuse en plus ou en moins.

La cause principale de la faiblesse de la tension veineuse étant l'écoulement facile du sang qui revient au cœur, il s'ensuit que toutes les fois qu'un obstacle vient entraver son retour, le sang s'accumule au-dessous de cet obstacle, et prend alors une tension notable. Ainsi, dans l'opération de la saignée, la ligature posée sur le membre produit au-dessous d'elle une tension très élevée qui s'accuse, au moment de la piqûre du vaisseau, par un jet presque aussi fort que serait celui d'une artère. En effet, au moment où l'on a ouvert la veine, il y avait à peu près égalité entre la tension des artères et celle des veines, la stase produite par la ligature avait supprimé les résistances des capillaires en supprimant peu à peu le mouvement à leur intérieur; il s'était établi ainsi un équilibre entre ces deux tensions. Dans le cas où une seule branche veineuse est oblitérée, l'augmentation de la tension dans cette branche est très faible, si les anastomoses permettent au cours du sang de se faire par d'autres voies. Enfin, suivant le nombre

des branches oblitérées, on voit la tension s'élever de plus en plus, en raison des difficultés du retour du sang.

Dans tous ces cas, le maximum que la tension veineuse puisse atteindre est évidemment d'égaler la tension artérielle. Il n'en est pas de même dans ceux où la contraction des muscles qui avoisinent les veines pousse le liquide dans le sens des valvules avec une force qui se traduit aussi sous forme de tension. On voit cet effet dans la saignée du bras toutes les fois que le patient contracte ses muscles; le jet de sang s'élance alors avec une force plus grande, expression de sa tension augmentée. Magendie (1), Mogk (2), Cl. Bernard (3), etc., ont étudié, à l'aide du manomètre, ces changements de la tension veineuse sous l'influence de la contraction musculaire. Ce dernier physiologiste, appliquant l'instrument à la veine jugulaire d'un cheval, vit que, suivant que l'animal était au repos ou qu'il faisait un effort pour relever la tête, la tension veineuse variait de 35 à 130 millimètres.

Ces élévations de la tension veineuse, sous l'influence de la contraction des muscles, n'ont pour limite que celle de la force musculaire, et la résistance que les veines peuvent déployer sans se rompre. Or, malgré leur minceur et leur grande dilatabilité, les veines ont une résistance considérable, et peuvent supporter des pressions qui déchireraient les artères, plus épaisses, mais plus friables.

Enfin, les variations de la masse totale du sang amènent encore des changements dans la tension veineuse. Celle-ci devient plus faible à la suite d'une saignée abondante. Les veines se gonflent, au contraire, et acquièrent une tension très forte, si, par suite de l'ingestion de boissons copieuses, une plus grande quantité de liquide pénètre dans le torrent circulatoire: c'est, comme on l'a vu, le système veineux presque tout entier qui, grâce à son extensibilité, loge ces liquides en excès.

5° Toutes les causes du mouvement du sang veineux, qui précédemment ont été passées en revue, s'ajoutent les unes aux autres et concourent à pousser ce liquide dans la direction du cœur. Il en existe encore une autre non moins importante à étudier, c'est l'*aspiration thoracique*. Chaque fois que la poitrine se dilate et fait à son intérieur un vide dans lequel l'air se précipite, le sang veineux, situé dans le voisinage de cette cavité se précipite également dans les veines intra-thoraciques. Valsalva (4) a été le premier, au dire de Morgagni, à remarquer cette influence de la respiration sur le cours du sang veineux. Haller l'a signalée à son tour. Mais la première démonstration de ce fait est due à Barry (5), qui en a donné une interprétation satisfaisante : avant lui, en effet, ce n'était pas à la pression atmosphérique qu'on attribuait cette entrée brusque du sang veineux dans la poitrine; on supposait seulement que l'inspiration facilitant la circulation pulmonaire, l'accélération se transmettait de proche en proche jusqu'aux veines jugulaires. Barry démontra l'existence de l'aspiration thoracique en introduisant par la veine jugulaire d'un cheval un tube de verre qu'il enfonça du côté de la poitrine; l'autre extrémité du tube plongeant dans un vase rempli d'une solution colorée, à chaque inspiration, le liquide montait du vase dans le tube, et, pendant l'expiration, il ne refluait que d'une manière incomplète, de telle sorte que le vase fut vidé au

(1) *Leçons sur les phénomènes physiques de la vie*, 1837, t. III, p. 164 et suiv.
(2) *Zeitschr. für rationelle Medizin*, 1846, t. III.
(3) *Leçons sur la physiologie et la pathologie du système nerveux*, t. I, p. 286.
(4) Voy. MORGAGNI, lettre XIX.
(5) *Recherches sur les causes du mouvement du sang dans les veines*. Paris, 1825.

bout de quelque temps. Cette expérience réfute d'elle-même une objection faite à la théorie de Barry. Si, disait-on, l'inspiration produit un appel du sang dans la poitrine, l'expiration doit produire un reflux qui compense entièrement l'action favorable de cet appel. Il est évident, d'après ce qui précède, que l'aspiration du liquide a prédominé sur le reflux, puisque, en définitive, le vase s'est vidé dans la poitrine.

Poiseuille (1) chercha à déterminer l'intensité des actions que produisent les mouvements respiratoires. Pour rendre plus sensibles les indications du manomètre, il substitua au mercure de son instrument une solution de sous-carbonate de soude, et obtint par ce moyen des oscillations plus étendues. En plaçant l'instrument dans la veine jugulaire à un centimètre de la poitrine, il observa, pendant l'inspiration, un abaissement de 90 millimètres dans la colonne manométrique; l'expiration produisait une élévation de même étendue. Dans les mouvements respiratoires plus profonds, il y eut des oscillations qui atteignirent une amplitude de 200 à 250 millimètres. Cet expérimentateur remarqua encore que, dans ces cas, l'inspiration faisait descendre le niveau du manomètre plus que l'expiration ne le faisait monter; d'où l'on peut conclure que l'action de la respiration est en définitive favorable à l'aspiration du sang. Il importe d'ajouter que, si pour certaines veines il existe ainsi un flux et reflux dans lesquels les deux effets contraires se compensent en partie, certaines autres veines n'éprouvent que l'action aspiratrice, le reflux étant entièrement empêché par les valvules. A l'entrée de la veine jugulaire interne, au moment où ce vaisseau débouche dans le tronc innominé, il y a une valvule, bien décrite par Fabrizio d'Acquapendente, qui s'oppose au reflux dans cette veine lors de l'expiration.

A la partie inférieure de la poitrine, l'aspiration doit nécessairement exister aussi. La veine cave inférieure, adhérant au pourtour de l'orifice diaphragmatique, est donc à chaque effort d'inspiration le siége d'un appel de sang analogue à celui qu'on vient de voir dans les jugulaires.

Jusqu'où s'étend l'aspiration du thorax sur le sang veineux? — Barry avait trop généralisé l'influence qu'il avait découverte : il pensait que tout le système veineux éprouve directement les effets de l'aspiration thoracique. P. Bérard fit observer, avec raison, que la souplesse des parois veineuses ne leur permet pas de transmettre cet appel du sang à de grandes distances. On sait, en effet, qu'il est impossible d'aspirer un liquide au moyen d'un tube membraneux : celui-ci s'affaisse sous la pression atmosphérique, et ses parois, s'accolant l'une à l'autre, obturent complétement l'ouverture du conduit. Ce phénomène n'avait pas échappé aux premiers observateurs qui signalèrent les influences de la respiration sur le cours du sang veineux. Haller (2) avait vu, à chaque inspiration, les veines superficielles du cou s'aplatir en se vidant. Dans les expériences manométriques des physiologistes modernes, l'instrument ne présentait des oscillations d'une grande amplitude que si on l'adaptait à des veines très rapprochées de la poitrine : sur la jugulaire, il cessait d'osciller lorsque son application était faite à $0^m,14$ de la poitrine, et les veines des membres ne donnaient aucune trace d'aspiration.

Il est pourtant certaines dispositions du système veineux qui reculent un peu

(1) *Journal universel et hebdomadaire de médecine et de chirurgie*, t. I, p. 289, et t. III, p. 97. 1831.

(2) *Elementa physiologiæ*, t. II, p. 333.

les limites de la zone d'aspiration du thorax : à défaut d'une rigidité suffisante pour résister à la pression atmosphérique, les veines offrent, en certains points, des adhérences aux tissus environnants, adhérences par suite desquelles leurs parois restent toujours écartées l'une de l'autre. P. Bérard (1) a insisté sur ce fait d'anatomie dont l'importance est très grande. Au cou, dit-il, les veines jugulaires externe et interne dans leur partie inférieure, de même que les troncs innominés et les veines sous-clavières, adhèrent aux aponévroses qui cloisonnent cette région. Les aponévroses elles-mêmes ont des insertions solides sur le sternum, les clavicules, les premières côtes; et de plus leurs insertions mobiles, celles qui se font aux muscles, sont plus fortement tendues pendant les efforts d'inspiration. Grâce à cette disposition, les veines dont nous venons de parler restent béantes lorsqu'on les coupe en travers; tandis que, dans les autres points du corps, une veine ainsi divisée est aplatie et présente un adossement complet de ses parois. La même béance s'observe aussi lorsqu'on coupe en travers les veines sus-hépatiques; elle est due à l'adhérence des parois de ces veines au tissu du foie. La veine cave inférieure, au point où elle reçoit les veines sus-hépatiques, adhère fortement elle-même à l'ouverture du diaphragme; de sorte que tout l'appareil veineux qui ramène le sang de la veine porte peut être soumis à l'aspiration du thorax, ce qui facilite singulièrement le cours du sang de cette veine, pour laquelle, comme nous le dirons tout à l'heure, la force d'impulsion est peu considérable.

L'influence des mouvements respiratoires sur la circulation veineuse est d'autant plus marquée que le passage de l'air dans les voies pulmonaires s'effectue avec moins de facilité. Barry avait signalé cet effet : en adaptant un manomètre à la trachée d'un animal, il avait vu que, dans l'inspiration, le vide thoracique se faisait sentir avec plus d'énergie. Poiseuille confirma cette remarque, qui d'ailleurs s'explique aisément et est analogue à ce que nous avons déjà vu des effets de la respiration sur la tension artérielle. Ces effets, insensibles à l'artère radiale dans la respiration normale, s'y perçoivent avec facilité quand, la glotte étant fermée, on fait des efforts de respiration; car, dans ces conditions, la raréfaction et la compression de l'air dans le thorax sont beaucoup plus complètes que dans les respirations normales.

Lorsqu'une des veines voisines du thorax est ouverte dans une opération, l'air est aspiré et pénètre dans l'oreillette droite, puis dans le ventricule correspondant qui le chasse dans le poumon. La présence de bulles d'air nombreuses, mélangées au sang dans les vaisseaux pulmonaires, produit, en vertu de la capillarité, des résistances insurmontables, par suite desquelles la circulation pulmonaire s'arrête; de là résulte la mort par asphyxie. Ce mécanisme a été bien étudié surtout par Mercier (2), puis par Poiseuille (3); il s'accorde parfaitement avec ce que la physique enseigne relativement aux résistances que la présence de bulles d'air produit dans les tubes de petit calibre. Cet accident n'est à redouter que pour les veines situées dans les limites où s'exerce l'aspiration de la poitrine. Les chirurgiens ont enregistré de nombreux cas de mort par suite de l'introduction de l'air dans les veines, survenue dans les opérations pratiquées au voisinage du thorax.

(1) *Cours de physiologie*, t. IV, p. 62.
(2) *Observations sur l'introduction de l'air dans les veines et sur la manière dont elle produit la mort* (*Gaz. méd. de Paris*, 1837, p. 481).
(3) *Gaz. méd. de Paris*, 1837, p. 671.

Le relevé de ces observations permet de déterminer les points auxquels, chez l'homme, cette aspiration peut s'observer. C'est ce qu'on a décrit, en chirurgie, sous le nom de *zone dangereuse*. Dans ces points, en effet, toute opération peut devenir mortelle instantanément. Les adhérences, que nous avons signalées entre les parois veineuses et les tissus environnants, expliquent la production de ce phénomène dans des points assez distants du thorax chez l'homme. Ainsi l'aspiration s'exerce parfois jusqu'à la veine faciale, au point où elle contourne le bord de la mâchoire inférieure. Sur les parties latérales du tronc, elle se propage jusqu'à la veine axillaire; à plus forte raison doit-on craindre un pareil danger dans les points situés en dedans de ces limites extrêmes.

Au moment où la veine est divisée, on entend un bruit particulier, que presque tous les observateurs ont signalé, et qui ressemble à celui que produit l'entrée de l'air dans la plèvre, à la suite d'une plaie pénétrante de poitrine. Si l'on ausculte le cœur, on peut, dans certains cas, entendre un gargouillement qui indique à son intérieur la présence de gaz mélangés avec le sang. Enfin la mort arrive, chez l'homme, à la suite d'un état syncopal. Les animaux, sur lesquels on a déterminé artificiellement cette introduction de l'air dans les veines à l'aide d'un mécanisme analogue, ont offert, aux approches de la mort, un état convulsif moins souvent observé dans l'espèce humaine.

Certaines observations cliniques ont pu faire croire que l'aspiration de l'air par les veines s'étendrait encore à des vaisseaux beaucoup plus éloignés de la poitrine que ne le sont les précédents. On a trouvé de l'air dans les veines de l'utérus après l'accouchement : dans une observation de Legallois (1), il est dit que cet air avait parcouru la veine cave inférieure, et distendait les cavités droites du cœur. L'examen attentif de ces faits porte à croire que, dans ces cas, l'air n'avait pas été aspiré, mais refoulé dans les veines, tantôt à la suite d'une injection faite dans la cavité utérine au moyen d'une seringue mal purgée d'air, tantôt par le fait même de la contraction de l'utérus : cet organe aurait admis de l'air à son intérieur, et son col, s'étant refermé, n'en aurait plus permis l'expulsion au dehors, tandis qu'une contraction utérine aurait alors chassé ce fluide dans les veines.

On a attribué aux mouvements alternatifs de systole et de diastole de l'oreillette droite une action analogue à celle de la poitrine, c'est-à-dire qu'au moment de la systole auriculaire, le sang serait refoulé dans le système veineux, tandis qu'à chaque diastole il serait aspiré du côté du cœur.

Le reflux qui se produit dans la jugulaire à chaque systole, dans certains cas pathologiques, est un fait bien constaté. C'est à tort qu'on l'a décrit sous le nom de *pouls veineux;* non pas que cette dénomination soit fausse par elle-même, mais parce qu'elle peut faire établir une confusion fâcheuse entre ce reflux du sang dans les veines du cou et les pulsations qu'on observe parfois sur les veines des extrémités : nous avons déjà vu que ces pulsations sont produites par la propagation du pouls artériel, et qu'elles sont dues, comme ce dernier, à l'impulsion ventriculaire. Le reflux veineux, tel qu'on l'observe sur les malades, est formé par une série d'ondulations du sang dans les jugulaires. Ces mouvements, très visibles, mais peu appréciables au toucher, tiennent à diverses causes. Les uns, rares et amples, sont dus à l'action respiratoire; les autres, plus fréquents et

(1) *Journal hebdomadaire de médecine*, 1829, t. III, p. 183.

lus brefs, dépendent des contractions du cœur. On pourrait les comparer, avec istesse, aux courbes de différente nature que trace le *kymographion* de Ludwig, pliqué sur une artère (*). Là aussi les mouvements étendus et prolongés ennent aux influences respiratoires; les autres, plus petits, sont dus aux con-actions du cœur. Haller, Morgagni (1), Bertin (2), avaient déjà reconnu cette ouble influence qui produit le phénomène du pouls veineux au cou. Les etits battements veineux qu'on observe dans cette région sont synchrones avec s pulsations artérielles. Cette coïncidence les a fait attribuer à la contraction ı ventricule plutôt qu'à celle de l'oreillette. Aussi la plupart des cliniciens les ıt-ils considérés comme l'expression d'une *insuffisance auriculo-ventriculaire oite*. Mais, lorsqu'on fait attention à la brièveté extrême de l'intervalle qui pare la contraction de l'oreillette de celle du ventricule, on conçoit qu'il est fficile de distinguer ce qui appartient à l'une ou à l'autre de ces cavités, et l'on ut se ranger à l'opinion de Beau (3), qui attribue le reflux des jugulaires à la ule contraction des oreillettes. Cette opinion est d'autant plus acceptable, qu'elle mble mieux que toute autre s'accorder avec les faits cliniques.

Quant à l'aspiration que produirait la diastole de l'oreillette droite, on pourrait comprendre en vertu d'un retour de l'oreillette à des dimensions plus grandes rsque la contraction a cessé. Pour cela, il faudrait une certaine rigidité des rois auriculaires qui, par leur élasticité, reprendraient leur forme, comme cela passe pour le ventricule. La minceur de l'oreillette et sa flaccidité excluent à u près cette supposition, et de plus, les expériences instituées pour démontrer tte aspiration du sang veineux par la diastole auriculaire montrent qu'elle est peu près nulle. Si l'on ouvre la poitrine d'un animal afin de le mettre à l'abri de spiration thoracique, et qu'on applique un manomètre aux veines du cou, on ne ouve plus les grandes oscillations de la colonne liquide; il ne reste plus que des cursions d'un centimètre environ d'étendue, dans lesquelles on ne saurait ir autre chose que l'effet des reflux intermittents du sang chassé par l'oreil-tte à chacune de ses contractions, mais qui ne prouvent nullement l'existence une aspiration que la structure de cette cavité tend à faire rejeter.

Dans son ensemble, la *vitesse du sang veineux* est très faible; mais les influences cales qui poussent le sang ou l'attirent du côté de la poitrine peuvent, en cer-ins points et à certains moments, imprimer au courant centripète une assez grande pidité. Dès que la vitesse du sang est suffisante, le courant s'accompagne de la roduction d'*un bruit de souffle* analogue à celui des artères, avec cette différence u'il est plus continu. Ce bruit a pour condition d'existence le changement rsque de la tension veineuse. Ainsi, à la base du cou, on l'entend souvent avec ne intensité très grande au moment de l'inspiration, c'est-à-dire au moment où, l'une part, l'appel du sang dans la poitrine, et de l'autre l'impulsion *à tergo*, roduisent un courant rapide à la base des jugulaires. On le développe aussi sur s jugulaires par la pression du stéthoscope, comme cela se produit pour les ruits artériels; mais, en général, la pression doit être beaucoup plus faible pour s vaisseaux veineux.

(*) Voy. page 825, fig. 19.

(1) *De sedibus et causis morborum*, epist. XIX, n° 34.
(2) *Mém. de l'Acad. des sciences de Paris*, 1763, p. 260.
(3) *Traité expérimental et clinique d'auscultation*, p. 319.

Tandis que la circulation artérielle se retrouve dans toute l'économie avec les mêmes conditions, et que partout, dans le système des vaisseaux à courant centrifuge, on voit le sang poussé par le cœur lutter contre l'étroitesse des capillaires, la circulation veineuse nous offre, au contraire, la plus grande variété dans la répartition des forces impulsives et des résistances. On a vu déjà que certaines veines sont douées, plus que d'autres, de ces impulsions accessoires qui résultent de la contraction musculaire combinée avec le jeu des valvules (cette force manque entièrement dans les points du système veineux qui sont situés dans les grandes cavités du corps). Les résistances ne sont pas plus également réparties : tantôt, en effet, le sang qui retourne au cœur doit surmonter un obstacle plus ou moins grand, tantôt son retour est facilité par une force d'appel.

Il est certaines veines dans lesquelles le cours du sang est soumis à des conditions encore plus complexes, et qui méritent une mention spéciale.

La *veine porte* (qui est chargée de ramener le sang du tube digestif et de ses annexes), après s'être constituée en un tronc volumineux par la convergence de ses branches d'origine, se divise de nouveau à son entrée dans le foie et s'y distribue à la manière d'une artère, formant un riche réseau en tout semblable aux capillaires artériels, puis redevient convergente pour former les veines sus-hépatiques qui s'ouvrent dans la veine cave inférieure très près du diaphragme. Le sang que les artères envoient à l'intestin trouve donc sur son passage deux systèmes capillaires qu'il doit traverser. Pour vaincre la résistance du premier, il a, comme partout, l'impulsion artérielle qui doit lui suffire; mais, au niveau du foie, l'obstacle à surmonter semble hors de proportion avec la force impulsive. En effet, dans la veine porte, les valvules n'existent pas, chez l'homme du moins, et même l'existence de ces organes serait inutile, puisque les pressions que la veine porte subit sont également réparties sur toute l'étendue de ce vaisseau. La force impulsive est donc réduite au *vis à tergo*. Mais nous savons déjà que cette force, qui ne donne au sang veineux qu'une tension très faible quand le retour de ce fluide s'effectue avec facilité, peut, lorsqu'il existe un obstacle, amener une très forte tension : c'est ainsi que, dans l'opération de la saignée, la tension veineuse s'élève considérablement au-dessous de la ligature. La seule présence de l'obstacle qu'il trouve dans les capillaires hépatiques peut donc donner au sang de la veine porte la tension nécessaire pour les traverser. Ce n'est pas tout, les mouvements respiratoires exercent une influence favorable sur la progression du sang veineux à travers le foie. En effet, les veines sus-hépatiques adhèrent fortement par leur face externe au tissu de la glande ; et, comme elles se jettent dans la veine cave très près du diaphragme, c'est-à-dire en un point où l'aspiration de la poitrine s'exerce avec une grande énergie au moment où le diaphragme s'abaisse, il s'ensuit que l'aspiration se propage par ces canaux béants jusque dans les petits vaisseaux du foie. Comme, pendant que se fait l'appel du côté de la poitrine, l'abaissement du diaphragme comprime le sang de la veine porte, ce muscle pousse le sang du côté des capillaires hépatiques, et cette impulsion vient seconder l'appel thoracique pour favoriser le passage du sang à travers la glande. Poiseuille (1) et P. Bérard (2) ont insisté sur ces causes adjuvantes de la circu-

(1) *Recherches sur les causes du mouvement du sang dans les veines* (*Journ. hebd. de médecine*, 1830, t. I.

(2) *Cours de physiologie*, t. IV, p. 64.

lation de la veine porte. Ce dernier physiologiste a surtout noté l'influence de l'adhérence des veines sus-hépatiques au parenchyme du foie : c'est le même effet que nous avons déjà vu se produire au cou, par suite de l'adhérence des veines aux aponévroses environnantes.

La *circulation veineuse encéphalique* présente aussi des particularités importantes. Les troncs veineux y sont représentés par les *sinus* de la dure-mère qui forment des conduits toujours dilatés et soustraits aux pressions extérieures. On a attribué à ces sinus une action aspiratrice analogue à celle du siphon ; cette action paraît admissible. Les veinules qui des capillaires de l'encéphale se rendent aux sinus sont situées dans un milieu liquide et par lui-même incompressible : le liquide céphalo-rachidien. Mais elles ne sont pas pour cela, comme le croyaient Monro et plusieurs autres physiologistes, dépourvues de la faculté de se dilater ou de se resserrer. En effet, le liquide de la cavité crânienne communique directement avec celui du rachis, de telle sorte que, refluant de l'une de ces cavités à l'autre, il permet aux vaisseaux sanguins de changer de volume. L'anatomie pathologique montre bien d'ailleurs que les vaisseaux de l'encéphale peuvent, comme les autres, subir la dilatation congestive.

Lors donc que les veines de la pie-mère cérébrale se dilatent, tout le sang qui afflue à leur intérieur chasse dans le canal vertébral une quantité égale de liquide céphalo-rachidien ; celui-ci, à son tour, ne peut entrer dans la cavité du rachis qu'à la condition de comprimer les sinus veineux qui l'entourent, et d'en faire sortir une quantité de sang proportionnelle. De cette manière, il y a alternance entre la dilatation et la déplétion des veines du cerveau et de celles de la moelle épinière. Ces mouvements alternatifs du liquide céphalo-rachidien se produisent, à chaque respiration. Au moment de l'inspiration, le liquide afflue dans la cavité spinale pour remplacer le sang des plexus de la moelle, qui subit l'aspiration thoracique. Ce mouvement tend à former, dans la cavité crânienne, un vide qui appelle à son tour le sang dans les vaisseaux de l'encéphale. Telle est la nature des mouvements rhythmés du liquide céphalo-rachidien, si l'on peut conclure des expériences et des cas pathologiques à ce qui se passe à l'état normal. Mais, dans les vivisections et dans les observations de spina-bifida sur lesquelles on a basé cette théorie, le liquide céphalo-rachidien se trouve dans des conditions toutes spéciales ; car il est soumis à la pression atmosphérique au lieu d'être renfermé, comme à l'état normal, dans une cavité invariable limitée par des parois osseuses. Nous reviendrons sur ces mouvements du liquide céphalo-rachidien à l'occasion de la physiologie du système nerveux.

Certains points du système veineux ont pour caractère propre de présenter des stases complètes par intervalles : on voit alors ces vaisseaux, distendus par le sang, se gonfler de plus en plus, et communiquer aux tissus qui les renferment une rigidité connue sous le nom d'*érection*. Les corps caverneux de la verge présentent le type de cet état circulatoire. Ils sont, en effet, creusés de vacuoles qui font partie du système veineux, et dans lesquelles le sang s'accumule avec une forte tension, lorsque son retour est rendu impossible par la contraction de certains muscles. On peut imiter sur le cadavre cet état d'érection du pénis en étranglant les vaisseaux veineux par une ligature placée à la base de l'organe, de manière à empêcher le retour par ces vaisseaux, tandis qu'on pousse de l'eau dans

les artères avec une pression qui n'excède pas la tension artérielle. Suivant J. Müller (1), il faudrait une colonne d'eau de six pieds pour obtenir une complète rigidité de la verge de l'homme.

Circulation pulmonaire.

En commençant l'histoire de la circulation, nous avons dit que le cours du sang dans les cavités droites du cœur et dans le poumon pouvait être négligé provisoirement, et qu'on était autorisé, pour la facilité de l'étude, à considérer l'appareil circulatoire comme un circuit unique, tel qu'il est représenté dans le *schema* de Weber (p. 764). En effet, tout ce que nous avons avancé jusqu'à présent s'applique également à la circulation pulmonaire, qui présente, en petit, les mêmes organes et les mêmes fonctions que la circulation générale. Nous retrouvons là aussi un ventricule, une artère séparée du cœur par des valvules sigmoïdes en tout semblables à celles de l'aorte, un réseau capillaire que le sang du poumon doit traverser, avant de revenir par les veines pulmonaires à l'oreillette gauche, pour rentrer dans la grande circulation.

Rien, dans le jeu de ces parties, ne s'éloigne bien sensiblement de ce qui a été déjà décrit; mais le rôle de la circulation pulmonaire entraîne néanmoins quelques différences qu'il reste à indiquer.

Le sang qui va dans le poumon est du sang veineux qui en revient à l'état de sang artériel, tandis que dans le reste du corps, c'est du sang artériel qui part du cœur pour y revenir à l'état de sang veineux. Cette différence de composition, essentiellement liée à la destination du poumon et à la fonction respiratoire, nous a déjà occupé ailleurs. En outre, le sang qui traverse le poumon n'éprouve dans ce court circuit que de faibles résistances : c'est à cette condition que se rattachent diverses particularités de son mouvement que nous aurons à signaler ici.

Moins d'obstacles à vaincre exigeait moins de force de la part de l'organe d'impulsion ; aussi le cœur droit, par sa moindre épaisseur, révèle-t-il au premier abord une moindre énergie musculaire que le cœur gauche. Des mesures plus rigoureuses de sa force ont été prises par différents physiologistes. Butner (2) étudia, à l'aide du manomètre à mercure, la pression de l'artère pulmonaire, et trouva, chez le chien, une moyenne de $29^{mm},6$; chez le chat, de 17,6 ; chez le lapin, de 12,07. Chauveau et Faivre (3) évaluent la pression de l'artère pulmonaire à 1/3 de celle de l'aorte. — Les expériences de Butner ont été faites dans des circonstances qui nous semblent susceptibles d'altérer les résultats. En effet, ce physiologiste expérimenta sur des animaux auxquels il avait coupé les pneumogastriques; dès lors l'influence accélératrice que cette section produit sur les battements du cœur, et l'action que nous lui connaissons déjà, n'ont pas dû être sans influence sur l'état de la tension dans les artères pulmonaires. L'ouverture seule de la poitrine et l'établissement de la respiration artificielle modifient déjà assez la circulation pulmonaire pour que les valeurs obtenues dans ces conditions s'éloignent notablement de celles qui existent à l'état normal. Aussi les chiffres obtenus par Chauveau et Faivre sont-ils ceux qui doivent inspirer le plus de confiance : les expériences de ces physiologistes ont été faites sans ouverture

(1) *Manuel de physiologie*, t. I, p. 178, trad. franç. de Jourdan.
(2) *Zeitschrift für rationelle Medizin*, 1853, 2e série, t. II, p. 100 et suiv.
(3) *Gazette méd. de Paris*, 1856.

réalable de la poitrine, et la pression de l'artère pulmonaire a été prise sur le heval au moyen d'un trocart qu'on avait enfoncé jusque dans ce vaisseau, à ravers un espace intercostal.

La résistance que les capillaires du poumon présentent au sang qui les traverse :arie sous plusieurs influences, et entraîne avec elle des variations dans les tensions rtérielle et veineuse ; mais la difficulté d'expérimenter sur la circulation pulmoaire sans y produire de perturbations profondes, fait que, sur ce sujet, on est à eu près réduit à supposer ce que chaque influence doit produire d'après ce qui se asse dans les mêmes conditions du côté de la circulation générale. — Il est toutefois bien constaté que la respiration exerce une influence très grande sur le cours u sang dans le poumon. Aussitôt que la respiration s'arrête, la tension s'élève ans l'artère pulmonaire, indiquant qu'un obstacle considérable existe dans les oies capillaires du poumon ; les cavités droites, ne pouvant plus se vider, s'engorent de sang, puis cet état se prononce de plus en plus jusqu'à l'asphyxie, qui en ievient la conséquence. Sur le cadavre des animaux asphyxiés, on retrouve encore et engorgement des cavités droites du cœur qui est, pour ainsi dire, le signe anaomique de ce genre de mort.

Quelle est la cause immédiate de la résistance des capillaires du poumon au cours lu sang lorsque la respiration ne se fait pas? Haller (1) croyait expliquer très simplement cet effet par une cause toute mécanique : pour lui, le retrait du oumon entraînait la flexion à angle aigu des vaisseaux de son parenchyme, et le ang, n'étant plus capable de les traverser, s'accumulait derrière cet obstacle. Cette héorie fut combattue par Goodwyn (2), Bichat (3), Magendie (4), au moyen d'exériences probantes. Ce dernier tenta de substituer à la théorie de Haller une utre explication mécanique. L'arrêt du sang tiendrait, suivant lui, à la comression des vaisseaux pulmonaires par le retrait du poumon. D. Williams (5) nontra qu'on peut voir la même stase sanguine se produire dans les artères pulnonaires après l'ouverture de la poitrine, même lorsqu'on empêche complétement e poumon de revenir sur lui-même au moyen d'une ligature placée sur la trahée. Enfin Milne Edwards (6) fait remarquer avec raison que, dans toutes les expériences dans lesquelles la poitrine est ouverte, on ne saurait conserver les conditions normales de l'expansion des vaisseaux du poumon. Ceux-ci, en effet, doivent être tenus dans un état permanent de dilatation sous l'influence de l'aspiration thoracique, et chaque effort d'inspiration doit les dilater davantage, facilitant ainsi le passage du sang dans leur intérieur. Cette explication du rôle de la respiration par rapport à la circulation pulmonaire paraît vraisemblable, mais elle n'a pas reçu sa confirmation directe ou expérimentale.

L'absence de l'hématose a été considérée aussi comme pouvant, à elle toute seule, causer l'arrêt du sang dans les capillaires du poumon. D'après Alison, dans un milieu irrespirable, malgré la continuation des mouvements respiratoires, la même stagnation sanguine se produit encore. J. Reid (7) conclut d'expériences

(1) *Elementa physiologiæ*, t. III, p. 243 et suiv.
(2) *The Connection of Life with Respiration*, 1788, p. 40 et suiv.
(3) *Recherches sur la vie et la mort*, art. VI, § 1er.
(4) Notes à l'édition de Bichat, *loc. cit.*
(5) *Edinburgh Med. and Surg. Journ.*, 1823, t. XIX, p. 524.
(6) *Leçons sur la physiol. et l'anat. comparée de l'homme et des animaux*, t. IV, p. 357, notes.
(7) *Edinburgh Med. and Surg. Journ.*, 1841, t. LV, p. 137 et suiv.

analogues que le sang, lorsqu'il ne s'hématose plus, éprouve des résistances plus grandes dans les vaisseaux, et cette idée paraît justifiée par le phénomène inverse qui se produit chez les asphyxiés auxquels on pratique la respiration artificielle. Dans ce cas, la circulation pulmonaire recommence, et cet effet semble produit par le simple contact de l'air avec le sang chargé d'acide carbonique. Peut-être, dans l'asphyxie, y a-t-il, sous l'influence du sang noir, contraction des vaisseaux pulmonaires (de ceux du moins dans lesquels le sang n'arrive, à l'état normal, que lorsqu'il est artérialisé) ; cette opinion serait assez d'accord avec ce que l'on connaît de l'action du sang veineux sur les tissus contractiles. — En somme, ce sujet ne saurait être élucidé que par l'étude expérimentale ; sa haute importance pratique le recommande à l'attention des physiologistes.

La circulation veineuse, dans le poumon, présente quelques particularités dignes d'être remarquées. Il y a absence de valvules dans les veines de cet organe qui supportent, dans toute leur étendue, les variations de pression produites par les mouvements respiratoires. La cause impulsive est donc bornée, dans les veines pulmonaires, à la force *à tergo* qui, dans ces vaisseaux, acquiert une intensité considérable ; les vaisseaux capillaires du poumon se laissent en effet plus facilement traverser par le sang que ceux de la grande circulation. Enfin, si les veines du poumon offrent, dans leur ensemble, un calibre moindre que les artères, il suivrait de là que, par une exception unique dans l'économie, la circulation veineuse de cet organe se trouverait être plus rapide que sa circulation artérielle (1).

Vitesse générale de la circulation.

Nous savons maintenant quel est l'ensemble des voies que le sang doit parcourir, pour accomplir ce double circuit à travers lequel il se meut sans cesse depuis la naissance jusqu'à la mort. — Pendant la *vie intra-utérine*, l'appareil circulatoire offre des dispositions particulières qui entraînent des modifications importantes de la circulation : à cette époque de l'existence, cette fonction passe par des phases successives qui seront étudiées avec détail, dans le chapitre de la *génération*.

Considérée dans son ensemble, la circulation se fait avec plus ou moins de rapidité : nous savons déjà que le cœur, sous certaines influences, bat plus ou moins vite, que les artères versent leur sang dans le système veineux avec un mouvement d'autant plus rapide que le passage à travers les capillaires présente moins d'obstacles à surmonter. C'est donc, en définitive, la contractilité des petits vaisseaux qui constitue le régulateur du mouvement du sang ; mais le système nerveux *vasomoteur*, régissant cette contractilité, c'est lui qui tient pour ainsi dire sous sa dépendance toutes les fonctions de la vie organique qui sont liées d'une manière immédiate à la plus ou moins grande rapidité de la circulation. Ces variations, quelquefois énormes, qui surviennent à chaque instant dans l'état des vaisseaux, et, par suite, dans la vitesse du courant qui les traverse, empêcheront toujours d'assigner à la rapidité du circuit sanguin une valeur définie. — Nous croyons néanmoins devoir mentionner ici les remarquables expériences de Hering sur la *vitesse générale de la circulation*.

Que l'on suppose une molécule sanguine prise au moment où elle vient de tra-

1 DONDERS, *Physiologie des Menschen*, p. 156. Leipzig, 1859.

verser une veine, il est évident qu'elle ne reviendra à ce point qu'après avoir passé successivement par le cœur droit et le poumon, le cœur gauche, les artères et les capillaires, enfin la partie du système veineux en aval de laquelle nous avons choisi son point de départ. Si l'on pouvait reconnaître à son passage cette molécule sanguine lorsqu'elle a parcouru ce double circuit, on saurait quel temps est nécessaire pour que le sang ait accompli sa révolution entière. C'est ce résultat que Hering (1) a cherché à obtenir en injectant dans une veine une substance dont la présence pût se constater dans le sang à l'aide de réactions chimiques. Le prussiate de potasse fut le sel que choisit ce physiologiste; il l'injecta dans la jugulaire d'un animal et nota le moment exact de cette introduction. Puis, recueillant de cinq en cinq secondes le sang de l'autre jugulaire, il vit qu'au bout de *trente secondes* environ, chez le cheval, le torrent circulatoire avait ramené aux jugulaires la substance injectée. C'est, comme on le sait, en traitant par un sel de fer le sérum du sang ainsi recueilli à intervalles réguliers, qu'on peut reconnaître, à la coloration bleue qui se produit, si le prussiate de potasse est arrivé dans le vaisseau qu'on explore.

En opérant sur la veine crurale, on trouve qu'il faut un peu plus de temps qu'en agissant sur la jugulaire, pour que le prussiate de potasse arrive au lieu de la saignée. Cela prouve que la circulation de la tête est plus rapide que celle des membres inférieurs.

Vierordt (2) apporta quelques perfectionnements au procédé de Hering, en rapprochant davantage les intervalles des saignées; il put ainsi évaluer la vitesse de la circulation avec un peu plus de rigueur que ne l'avait fait Hering. Une cause d'erreur interviendrait, selon Matteucci (3), dans ces sortes d'expériences : c'est la diffusion du sel injecté dans le liquide sanguin; mais cette cause ne saurait en tout cas être assez influente pour modifier bien sensiblement la durée du transport.

Si l'on réfléchit aux voies si différentes par lesquelles le sang peut accomplir son trajet dans la grande circulation, on voit qu'il en est de très courtes relativement aux autres. Ainsi, le sang qui traverse le cœur n'accomplit qu'un bien petit circuit; la circulation céphalique, celle de l'intestin, etc., sont beaucoup plus courtes que celle qui se fait à travers les membres inférieurs. Il résulte de là que le sang qui, dans la saignée, apparaît le premier chargé de prussiate de potasse, devra être celui qui aura accompli le trajet le plus court; sa vitesse n'est donc pas celle de toute la masse du sang, elle n'en représente pas même la moyenne, mais correspond à son maximum. On peut supposer néanmoins que la vitesse ainsi obtenue est en général proportionnelle à la rapidité circulatoire, et dès lors on pourra tirer d'utiles déductions des expériences de Hering et de celles de Vierordt.

J. Blake (4), étudiant la rapidité plus ou moins grande de l'action de matières toxiques injectées dans les veines, put déterminer le temps qu'une *partie* du circuit met à s'accomplir; comme, par exemple, le temps nécessaire à ramener le sang des jugulaires au cœur, au poumon, etc.

Hering et Vierordt ont vu en outre que, chez les différents mammifères, il existe à peu près constamment un certain rapport entre la fréquence des battements

(1) *Zeitschrift für Physiologie*, 1832, t. V, p. 58.
(2) *Die Erscheinungen und Gesetze der Stromgeschwindigkeiten des Blutes*, p. 116.
(3) *Leçons sur les phénomènes physiques des corps vivants*, 1847, p. 326 et suiv.
(4) *On the Action of Poisons* (*Edinburgh Med. and Surg. Journ.*, 1841, t. LVI, p. 416).

du cœur et la vitesse du circuit sanguin ; de sorte que, chez tous, il faudrait environ vingt-sept battements du cœur pour que la solution injectée eût fait le tour de l'appareil circulatoire. De là résulte aussi, que chez les petits animaux qui ont les battements du cœur très fréquents, il faut *relativement* moins de temps pour que le circuit s'effectue que chez les animaux de haute taille qui ont ces battements plus rares.

Quand on cherche, d'après ces données, à déterminer la valeur d'une systole du cœur par rapport à la masse totale du sang, on voit qu'elle est de 1/27e environ à l'état normal ; mais, si l'on accélère la fréquence des battements du cœur, on s'aperçoit que chaque ondée lancée par le ventricule devient alors plus petite. Chez un cheval qu'on avait fait courir, la fréquence du pouls s'éleva de 36 pulsations à 110 par minute, et la rapidité circulatoire n'augmenta que de 1/5e environ. — Les auteurs précédents ont appliqué leurs recherches sur la rapidité du cours du sang à la pathologie et à l'étude de l'action des médicaments ; mais nous ne saurions les suivre ici dans leurs déductions, vu le peu de certitude de leur méthode et l'opposition qu'offrent leurs résultats avec les opinions le plus généralement admises en pathologie et en thérapeutique.

DE LA SÉCRÉTION.

Quand on considère comment la vie se conserve dans les organismes inférieurs, il est facile de reconnaître que c'est au moyen de deux fonctions opposées et corrélatives, l'*absorption* et la *sécrétion*. Par la première, l'être vivant introduit dans son intérieur des substances qu'il puise dans les milieux qui l'entourent; par la seconde, il fait dans ces substances un choix entre celles qu'il doit conserver pour se les assimiler et celles qu'il doit rejeter comme inutiles ou nuisibles.

Cette manière de comprendre la sécrétion serait conforme à l'étymologie (*secernere*, séparer, choisir); mais elle aurait le grave inconvénient de réunir et de confondre des opérations différentes par leur but, c'est-à-dire les actes de nutrition et ceux de sécrétion. Dans les végétaux, la distinction de ces actes est assez difficile pour que Ad. de Jussieu (1) ait cru devoir réunir dans un même chapitre la *nutrition* et la *sécrétion;* pour les animaux mêmes, Treviranus (2) a pu dire que « chaque partie, eu égard à sa nutrition, est relativement au reste du corps dans les conditions d'une substance excrétée. » — La vérité est que ce ne sont pas seulement les organes dits sécréteurs qui agissent sur les matériaux de la partie dissoute du sang, et que ce fluide est dans un état de perpétuelle mutation due également à l'action qu'exercent sur lui tous les autres organes et tous les autres tissus de l'économie : c'est en ce sens que se confondent les fonctions de sécrétion et de nutrition.

Mais, tout en reconnaissant que la nature ne se plie pas aux divisions établies par la science et qu'elle emploie des moyens analogues pour arriver à des résultats différents, il est néanmoins nécessaire, pour la facilité de l'étude, de poser des divisions qui, bien qu'artificielles, ne laissent pas que d'avoir leur utilité. Nous n'examinerons donc ici que la *sécrétion* en elle-même, — c'est-à-dire la fonction par laquelle les corps vivants séparent de l'organisme des substances destinées à être rejetées hors de lui ou à n'y rester que pour servir à des actes physiques ou chimiques, — et nous nous abstiendrons de traiter, pour l'instant, des phénomènes de sécrétion liés à d'autres fonctions. Ce qui distinguera essentiellement un produit de sécrétion d'un produit de nutrition, c'est son inaptitude à être assimilé sans modification ultérieure.

Les substances sécrétées, qu'on désigne aussi sous le nom de *sécrétions*, sont généralement distinguées en *excrémentitielles* et *récrémentitielles :* les premières doivent être rejetées au dehors, et les secondes restent dans l'économie pour y servir à l'exercice de certaines fonctions. Cette distinction, qui n'est pas rigoureuse, n'a pas d'ailleurs une bien grande importance. — On a aussi divisé les sécrétions en

(1) *Éléments de botanique, p. 178. Paris, 1852.*
(2) *Biologie, t. IV.*

continues, *rémittentes* et *intermittentes* : aux premières est confié un rôle de dépuration qui ne pourrait s'interrompre sans danger pour l'organisme (urine, bile, etc.); quant aux secondes, sans cesser jamais, elles augmentent ou diminuent de quantité suivant diverses circonstances (sueur, salives sous-maxillaire et sublinguale, etc.); enfin, pour les troisièmes, elles se suspendent par intervalles et d'une manière plus ou moins complète (salive parotidienne, suc gastrique, suc pancréatique, etc.). — Plus loin, nous dirons comment les sécrétions ont été classées au point de vue de leur composition chimique.

L'utilité de la sécrétion, son indispensable nécessité, n'ont pas besoin d'être démontrées : puisque les corps vivants ont la propriété d'absorber, et que leurs dimensions sont fatalement circonscrites dans de certaines limites, il fallait bien que les substances absorbées en excès pussent être éliminées. Toutefois cette utilité en quelque sorte mécanique n'est pas la seule, elle est même la moindre : on pourrait comprendre, en effet, que l'absorption fût restreinte aux besoins de la nutrition et qu'elle n'offrît jamais d'excédant à rejeter. Mais on sait que les molécules qui constituent les corps vivants ne restent pas inaltérables, elles vivent toutes en quelque sorte d'une vie propre, puis elles subissent une série de modifications, de transformations telles, qu'après un certain temps elles deviennent inutiles, et même deviendraient nuisibles si elles n'étaient expulsées : cette expulsion est l'œuvre des sécrétions. Aussi Marshall-Hall (1) a-t-il cru devoir dire que « les fonctions d'égestion sont encore plus immédiatement nécessaires à la conservation de la vie que celles d'ingestion. »

Dans les animaux supérieurs, toute substance passe nécessairement dans le torrent circulatoire avant d'être assimilée ; de même aussi toute substance y rentre pour être excrétée. Mais ce serait une erreur de croire qu'on trouve tout formés, dans le sang, les divers produits de sécrétion : si quelques-uns y existent tout constitués, d'autres ne s'y rencontrent que dans leurs éléments. — Ainsi Prévost et Dumas ont démontré la présence de l'*urée* dans le sang d'animaux auxquels les reins avaient été enlevés ; Simon et Marchand, dans le sang normal des ruminants ; et Garrod dans celui de l'homme (*). — L'*acide urique* existe non-seulement dans le sang des goutteux, mais même à l'état normal et en combinaison avec la soude. On a également trouvé de l'*acide hippurique* combiné avec ce dernier alcali. — On admet aussi qu'on y rencontre de la *créatine*, de la *créatinine*, et de l'acide *lactique* sous forme de lactates alcalins. — Il est facile d'y reconnaître la présence de la *cholestérine* et d'autres matières grasses ; mais on ne peut qu'y supposer l'existence de la matière colorante de la bile, *biliverdine*. — Il n'est pas possible de démontrer que le sang contienne de la *caséine*, du moins en quantité suffisante pour la sécrétion lactée, non plus que de l'*acide butyrique* qui résulte sans doute de transformations subies par les matières grasses du sang, etc., etc.

Il est possible que la chimie parvienne à démontrer ultérieurement que les principes immédiats de toutes les sécrétions existent réellement dans le sang ; mais, en admettant qu'il en soit ainsi, il n'en faudrait pas conclure que la sécrétion ne consiste que dans le passage direct de ces principes à travers les organes sécréteurs. En effet, si les analyses les plus parfaites ont pu retrouver dans le sang des

(1) *Gulstonian Lectures*, 1842.

(*) Le sang des goutteux et celui des albuminuriques contiennent de l'*urée* en proportion plus considérable que de coutume (MAZUYER et GARROD).

traces des principes excrétés, en n'en retrouvant que des traces elles établissent que ces principes doivent nécessairement se former dans les organes sécréteurs eux-mêmes : ainsi, d'après Garrod, dans 1000 grammes de sérum de sang humain, il n'y aurait que 0,005 d'urée et 0,002 d'acide urique, quantités insuffisantes pour la sécrétion urinaire, etc.

Les produits de sécrétion peuvent être solides, liquides ou gazeux. — Parmi les premiers, on ne pourrait guère compter que les fanons, les dents, les poils, les ongles, les plumes, qui se rapprochent des sécrétions par leur mode de formation et s'en éloignent par leurs usages. Toutefois, au dire de Paget (1), les poils auraient pour action de séparer du sang le bisulfite de protéine ; mais on ne voit pas que leur présence ou leur absence modifie, d'une manière sensible, la composition du liquide sanguin. Le suif et la graisse, les matières sébacées, le cérumen des oreilles, bien que solides à la température ordinaire, paraissent sécrétés à l'état liquide. — Les sécrétions liquides sont, de beaucoup, les plus nombreuses. Ce sont : la salive, le suc gastrique, le fluide pancréatique, le suc intestinal, la bile, l'urine, les larmes, le mucus, le sperme, le lait. Certaines sécrétions peuvent être à l'état liquide ou à celui de vapeur, comme la sérosité des membranes articulaires, des membranes séreuses, la sueur, etc. : ces divers produits ne sont liquides que quand ils ont été sécrétés en grande abondance ou condensés par le froid. — La transpiration insensible constitue la seule sécrétion gazeuse véritable, à moins qu'avec divers auteurs, on ne veuille considérer comme une sécrétion l'exhalation de l'acide carbonique par les poumons. Chez les poissons, on a voulu aussi parfois envisager comme un produit gazeux de sécrétion les fluides aériformes qui remplissent la vessie natatoire. Quant aux gaz contenus dans les intestins, on admet qu'ils y sont formés plutôt par exhalation que par sécrétion.

Il n'est aucun caractère physique commun à toutes les sécrétions : elles diffèrent de couleur, d'odeur, de densité ; aussi paraît-il y avoir encore beaucoup plus de diversité entre les produits de sécrétion qu'entre les organes sécréteurs eux-mêmes.

La composition chimique n'est pas moins différente dans les sécrétions. Sous ce rapport, Tiedemann (2) divise en six grandes classes les fluides sécrétés dans l'économie animale : 1° les liquides séreux qui ressemblent au sérum du sang et sont composés d'une grande quantité d'eau, d'un peu d'albumine dissoute et des sels existant dans cette dernière (sérosité du tissu cellulaire, liquides des membranes séreuses et articulaires, des chambres de l'œil, de la capsule cristalline et du labyrinthe de l'oreille) ; — 2° les liquides albumineux, qui se distinguent par une grande quantité d'albumine (suc pancréatique, sperme, liquide des vésicules de de Graaf, etc.) ; — 3° les liquides muqueux, dans lesquels le mucus animal est le principe prédominant (mucus du tube digestif, des voies respiratoires, des organes génito-urinaires, et aussi le liquide sécrété à la surface de la peau chez la plupart des animaux qui vivent dans l'eau) ; — 4° les liquides gras ou huileux (graisse du tissu cellulaire, moelle des os, liquides des cryptes de la peau, cérumen des oreilles, fluides gras du prépuce, de l'entrée des parties génitales de la femme, fluide des glandes anales, huile de la glande coccygienne des oiseaux, cire des

(1) *Lectures on Nutrition* (*London Med. Gaz.*, 1847).
(2) *Physiol. génér. et comp.*, 2e part., p. 437 et suiv., édit. franç.

abeilles, etc.); — 5° les liquides contenant beaucoup de sels et la plupart du temps des substances animales particulières (salive, bile, urine, larmes, etc.); — 6° les liquides dans lesquels les acides prédominent (sueur, venin des abeilles, liquides que lancent les fourmis, etc.).

La distinction des sécrétions en acides et en alcalines, suivant qu'elles doivent être complétement expulsées ou servir ultérieurement à d'autres fonctions, n'est pas fondée dans la totalité des cas. — La présence ou l'absence de globules ne saurait non plus servir à distinguer les produits sécrétés en récrémentitiels et excrémentitiels.

La quantité des produits de sécrétion varie suivant un grand nombre de circonstances. En général, elle est beaucoup plus considérable qu'on ne serait tenté de le supposer : ainsi, dans les végétaux, elle est telle que, d'après Martino (1), la quantité de transpiration d'un chou s'élèverait à 23 onces dans les vingt-quatre heures; suivant Lehmann (2), un chien sécrète, en vingt-quatre heures, une quantité de suc gastrique équivalente au dixième du poids total du corps; les recherches de Bidder et Schmidt (3) ont établi qu'un lapin sécrète, dans le même temps, un huitième de son poids de bile, etc.

Certaines sécrétions peuvent être considérées comme complémentaires l'une de l'autre: ainsi chacun sait que la quantité de la sécrétion urinaire est en raison inverse de la quantité de la transpiration cutanée ; chez les animaux qui ne transpirent pas par la peau, l'exhalation pulmonaire supplée à l'exhalation cutanée, etc. — Mais, s'il est certaines substances qui peuvent être excrétées presque indistinctement par une voie ou par une autre, il en est aussi qui ne peuvent être sécrétées que par des organes spéciaux. L'eau, qui constitue la base de presque toutes les sécrétions, peut être rejetée par la peau, par les muqueuses, par les diverses glandes, presque aussi bien que par les reins: aussi, quand une sécrétion augmente de quantité, est-ce principalement la partie liquide qui constitue cette augmentation à laquelle les parties solides (au moins les parties organiques) ne contribuent presque pas ou même pas du tout.

L'abondance d'une sécrétion n'est pas constante, et, d'une manière générale, on peut dire qu'elle est plus grande pendant que s'exerce la fonction à laquelle elle concourt que pendant la période de repos: la sécrétion de la salive augmente considérablement pendant la mastication, celle du liquide pancréatique pendant la digestion, etc. — Plusieurs sécrétions ne sont que temporaires : telles sont celles qui sont relatives aux fonctions génitales, qui ne commencent qu'à la puberté et finissent à la vieillesse. La sécrétion lactée est non-seulement temporaire, limitée à la période où la mère nourrit ses petits, mais encore elle n'appartient qu'à un seul sexe : les exemples de production de lait chez les individus mâles sont une exception assez rare pour qu'on n'en doive tenir que peu de compte.

Rappelons, en passant, qu'il existe des sécrétions pathologiques qui n'ont pas leurs analogues dans les conditions normales, et des sécrétions modifiées dans leur composition sous des influences morbides. Chacun connaît les propriétés virulentes

(1) Cité par TIEDEMANN, *Physiol. génér. et comp.*, 2e part., p. 128, trad. de Jourdan. Paris, 1831.
(2) *Précis de chimie physiologique animale*, trad. franç. Paris, 1855, p. 189.
(3) *Die Verdauungssäfte*, etc., p. 209.

qu'acquièrent la salive chez les animaux atteints d'hydrophobie, le mucus des voies génitales chez les individus affectés de syphilis, etc.

Quelle que soit la diversité de composition des sécrétions, chacune d'elles a une composition à peu près constante dans les conditions ordinaires, mais que diverses circonstances peuvent néanmoins faire varier. Ainsi les substances non assimilables introduites dans l'économie en sortent par les sécrétions, non pas indistinctement par l'une ou par l'autre, mais suivant un mode d'élection facile à constater. — Il est admis généralement que les acides minéraux sont éliminés surtout par le liquide gastrique; — les alcalis, le sel de nitre, les principes résineux, par les urines; — l'iodure de potassium, les sels mercuriels par la salive, etc. A quelle loi obéissent les sécrétions dans ces circonstances, nous l'ignorons, aussi bien que nous ignorons celle qui préside au mécanisme des sécrétions à l'état normal.

Si l'on considère que tous les tissus possèdent la propriété de *choisir* dans le liquide ambiant les éléments propres à leur nutrition, on sera tenté de croire que les tissus particuliers, des organes spéciaux ne sont pas nécessaires pour *choisir* les éléments des sécrétions : ce serait une erreur, et l'existence même d'agents sécréteurs pourrait servir à établir une distinction réelle entre la nutrition et la sécrétion.

Les organes sécréteurs proprement dits, les *glandes*, sont loin d'être partout semblables. — Jusqu'au dix-septième siècle, les anatomistes n'eurent aucune idée de la structure de ces organes, desquels ils ne s'appliquaient à étudier que la forme extérieure et la situation. A Malpighi (1) sont dues les premières notions sur la texture intime du parenchyme glandulaire. Cet observateur célèbre admit que les conduits excréteurs des glandes se terminent en culs-de-sac à forme vésiculeuse (*acini*). A ses yeux, toute glande serait constituée par une série de petits grains disposés sur les conduits excréteurs comme les grains d'une grappe de raisin sur leur tige. Malpighi n'était pas complétement dans le vrai, puisque certaines glandes, telles que le rein, le testicule, les glandes de Lieberkühn, etc., ne présentent pas d'*acini* ou culs-de-sac vésiculaires, mais bien des tubes cylindriques, droits ou plus ou moins flexueux. Il avait néanmoins découvert ce fait important, que les glandes sont formées par l'épanouissement des conduits excréteurs, fait que des recherches ultérieures sont venues confirmer de tous points. — Ramenée à la plus simple expression, une glande peut toujours se définir, d'après Malpighi : « *une cavité close avec un conduit excréteur.* » Pour lui, les *acini* représentent la division ultime des glandes : les auteurs modernes ont poussé l'investigation plus loin, et, avec leur microscope perfectionné, ils ont pu reconnaître que les acini sont eux-mêmes formés par un agrégat de cellules communiquant entre elles et s'ouvrant dans un même conduit excréteur.

Quelques années plus tard que Malpighi, Ruysch (2), s'appuyant de ses admirables injections, avança que les glandes étaient essentiellement constituées par des vaisseaux sanguins venant s'aboucher directement avec les canaux excréteurs. Des études postérieures ont prouvé que ces deux systèmes de canaux sont indépendants, et que leur communication est toujours le résultat d'une déchirure produite sous l'effort de la substance injectée.

(1) *De viscerum structura exercit. anatom.*, trad. franç. Paris, 1687, in-12.
(2) *Opusculum anatom. de fabr. glandul. in corp. hum.*, p. 45 et seq. Amsterdam, 1733, in-4.

L'étude de la texture du système glandulaire n'a réellement fait de nouveaux progrès que depuis un petit nombre d'années, grâce au perfectionnement des moyens d'observation. Cependant beaucoup de points restent encore obscurs, et les auteurs qui se sont le plus occupés de ce sujet, J. Müller (1), Kölliker (2), Henle (3), etc., sont loin d'être d'accord, même sur ce que l'on doit désigner sous le nom de *glande*.

L'idée la plus générale qu'on puisse se faire d'une glande, est celle d'un organe propre à soustraire de la masse totale du sang qui le traverse certains principes destinés à être déversés à la surface de la peau ou des membranes muqueuses : sécrétion et excrétion, tel est donc le rôle d'une glande.

La partie la plus essentielle des glandes est représentée par leur *élément sécréteur*, qui consiste en cellules ou vésicules particulières. Quant à ce qui concerne l'*élément excréteur*, certaines glandes, et ce sont de beaucoup les plus nombreuses, peuvent excréter sans cesse leur produit à l'aide de conduits toujours ouverts; d'autres, au contraire (ovaires, follicules clos de l'intestin, glandes biliaires d'un grand nombre d'invertébrés), semblent s'ouvrir par déhiscence et d'une façon intermittente. — Ainsi, ce qui caractérise le tissu glandulaire et le différencie de tous les autres tissus, c'est la présence de cellules spéciales qu'il nous faut étudier et dont le rôle consiste à extraire du sang, souvent aussi à élaborer certains matériaux qui, une fois sécrétés, doivent se rendre aux surfaces tégumentaires.

Il y aura donc lieu de faire une classe à part de la *rate*, du *corps thyroïde*, du *thymus* et des *capsules surrénales*, qui possèdent, il est vrai, des cellules propres en rapport fonctionnel avec la constitution du sang, mais dont le produit, faute de canaux excréteurs, n'est point versé à la surface cutanée ou muqueuse.

Un épithélium spécial, nucléaire ou autre, et une substance amorphe qui constitue les parois des tubes sécréteurs, — des fibres musculaires lisses, — des éléments fibro-plastiques, — du tissu conjonctif, — des vaisseaux sanguins et lymphatiques, — des nerfs, — tels sont les divers éléments qu'on observe dans les glandes.

La cellule sécrétante, ou élément caractéristique, est le plus souvent polygonale ou cylindrique. On pourrait la confondre avec les cellules épithéliales ordinaires, mais elle en diffère essentiellement en ce qu'elle renferme dans son intérieur des matériaux particuliers, tels que ceux de la bile, du suc gastrique, etc.

Kölliker rattache aux quatre types suivants les formes principales de l'élément sécréteur des glandes : 1° Réseau de cellules solides et sans membrane d'enveloppe : on les trouve dans le foie. 2° Vésicules closes entourées d'une membrane fibreuse et pourvues d'épithélium : les vésicules de de Graaf, les follicules du corps thyroïde, peut-être aussi le thymus. 3° Vésicules glandulaires ouvertes, arrondies ou allongées, avec une membrane propre et un épithélium : on les rencontre dans les *glandes en grappe*. 4° Gaînes glandulaires ouvertes avec une membrane propre ou une membrane fibreuse et un épithélium : elles s'aperçoivent dans les *glandes en tube*.

Suivant le même observateur, les vraies glandes peuvent être groupées dans

(1) *De glandularum secernentium structura penitiori, etc. comment. anatom.* Lipsiæ, 1830.
(2) *Éléments d'histologie humaine*, trad. franç. Paris, 1856, p. 54 et suiv.
(3) *Anat. génér.*, trad. de Jourdan. Paris, 1843, t. II.

les divisions qui suivent, d'après la forme de leurs derniers éléments : glandes avec vésicules glandulaires closes qui s'ouvrent par déhiscence (ovaire, etc.) ; — glandes dont le parenchyme consiste en cellules assemblées sous forme de réseau (foie) ; — glandes en grappe (simples ou composées) ; — glandes en tube (simples ou composées).

Dans la classification le plus généralement admise, sans doute parce qu'elle est la plus simple, on distingue des follicules, des glandes en tube et d'autres en grappe.

Les *follicules* représentent cette forme rudimentaire de glande que l'on rencontre principalement, mais non exclusivement, chez les animaux d'un ordre inférieur. Il en est qui offrent un orifice permanent, comme les follicules du col utérin, etc. ; d'autres s'ouvrent de temps à autre par déhiscence, comme les vésicules closes de de Graaf. Les nombreuses vésicules qui tapissent la surface intestinale, des annélides et qui crèvent de temps en temps pour laisser écouler la bile, se rattachent également à ce groupe. Il est présumable que les *follicules agminés* qui constituent les plaques de Peyer versent aussi leur produit par déhiscence, etc.

Les *glandes en tube* sont tantôt simples et tantôt composées. — Les *simples* sont formées parfois d'un tube droit terminé en cæcum ou d'un petit nombre de tubes de cette espèce (l'estomac et l'intestin renferment beaucoup de ces sortes de glandes) ; d'autres fois le tube unique est enroulé, pelotonné sur lui-même de façon à représenter un petit grain (les glandes sudoripares et les glandes cérumineuses du conduit auditif en sont des exemples). Les glandes en tube *composées* sont celles qui offrent un plus ou moins grand nombre de tubes ramifiés ou reliés entre eux sous forme de réseau : le rein et les testicules sont les principales glandes de ce genre.

Quant aux *glandes en grappe*, elles sont aussi simples ou composées, et ces deux espèces ne diffèrent l'une de l'autre que par la disposition du conduit excréteur. — Dans les glandes en grappe *simples*, le conduit excréteur n'est pas ramifié, mais la cavité du saccule qui les compose est divisée, à son intérieur, par des saillies membraneuses, en plusieurs compartiments qui tous aboutissent au conduit central : telles sont les glandes sébacées, les glandes de Meibomius, celles qui entourent la base du mamelon, celles qui forment la caroncule lacrymale, etc. Les glandes en grappe *composées* sont très nombreuses, et présentent un conduit excréteur ramifié : tantôt ce conduit se divise, à la manière des vaisseaux, en branches de plus en plus petites, et tantôt naissent irrégulièrement de ses parties latérales, à angle droit, des rameaux plus déliés qui se subdivisent à leur tour. Les grains glanduleux (*acini* de Malpighi) se réunissent pour former des lobules indépendants les uns des autres, et ceux-ci forment des *lobes*. Les glandes salivaires, lacrymale, mammaire, le pancréas, etc., appartiennent à cette classe de glandes.

L'étude de la structure intime des principaux organes de sécrétions ne pouvait manquer de jeter quelque jour sur la manière suivant laquelle elles s'opèrent. Mais on n'a pas attendu jusque-là pour émettre des idées théoriques sur le *mécanisme des sécrétions*.

L'idée la plus simple, et qui semble s'être présentée la première à l'esprit, se trouve déjà exprimée dans Asclépiade de Bithynie (1). Il suppose que les tissus à travers lesquels s'opère une sécrétion représentent des cribles qui laissent passer

(1) GALIEN, *De nat. facult.* lib. I, p. 92.

certaines parties et en retiennent d'autres. Cette opinion est aussi celle de Descartes (1). D'après lui, les molécules rondes s'engageraient dans des canaux circulaires, les pyramidales dans des tubes triangulaires, les cubiques dans des conduits carrés, et de cette manière chaque sécrétion conserve son état naturel, tant que des particules convenables traversent les pores qui leur sont destinés.

Borelli (2) faisait jouer un rôle, dans le mécanisme des sécrétions, au diamètre des vaisseaux, à leurs courbures, aux angles suivant lesquels les canaux sécréteurs se séparent des artères, etc. ; mais il admettait en même temps l'existence d'un ferment spécial pour chaque sécrétion. — L'école de Newton, tout en tenant compte du diamètre des vaisseaux, fait intervenir la vitesse du sang dans l'explication des phénomènes sécrétoires.

A toutes ces explications insuffisantes les animistes en substituèrent une bien plus simple, mais qui n'explique absolument rien. Stahl (3), aux yeux de qui les théories atomiques ne pouvaient pas rendre compte des actes sécrétoires, admet que l'*âme* est le surveillant qui porte chaque chose à sa place; et, d'après Platner (4), chaque organe a son tact, ses désirs et ses aversions suivant lesquels il tire du sang les principes dont la sécrétion lui est confiée. Quand Haller eut établi les lois de l'irritabilité, Cigna (5) s'efforça de démontrer leurs rapports avec les sécrétions.

Ainsi chaque système a eu son explication des importants phénomènes que la sécrétion présente.

De nos jours, on reconnaît qu'il y a quelque chose de vrai dans plusieurs de ces théories anciennes, et assurément il convient encore de faire grande la part des phénomènes mécaniques et chimiques dans l'acte de la sécrétion. Mais ce qui distingue essentiellement la théorie assez généralement admise aujourd'hui de celles des atomistes, des iatro-mathématiciens ou des chimistes, c'est qu'elle ne voit dans les phénomènes physiques ou chimiques qu'une cause secondaire de la sécrétion, qui toujours reste subordonnée à une force inconnue dite *vitale*.

Sans doute, il n'est plus permis de croire au passage direct du sang dans les canaux sécréteurs : déjà, depuis que Malpighi (6) avait démontré la continuité des artères et des veines, on avait été amené à reconnaître qu'il y avait simple transsudation à travers les parois des artères des parties fluides du liquide sanguin. Mais les termes changés, il est permis de reconnaître dans cette transsudation, dont l'existence est incontestable dans les capillaires sinon dans les artères, l'analogue de la sortie du *plasma* du sang (*) à travers les pores des vaisseaux.

S'il n'est plus possible aujourd'hui d'attribuer aux courbures des vaisseaux ou à leur volume toute l'importance qu'on leur donnait autrefois, on doit néanmoins tenir grand compte de la vitesse de la circulation dans les actes qui participent à la sécrétion. — On n'admet plus guère l'existence de ferments qui produiraient les fluides sécrétés; mais on sait qu'il s'opère, dans les glandes, une action moléculaire qui rappelle l'idée de la fermentation. — Enfin, si l'on rejette avec raison l'hypothèse de l'âme intelligente en fonction dans les organes sécréteurs, on est

(1) *Tractatus de homine : De nutritione*, n° 25.
(2) *De motu animalium*, p. 139. — *De œconomia animali*, chap. IX.
(3) *Theor. med.*, p. 324-327.
(4) *Quæst. physiol.*, p. 184.
(5) *Opuscoli*, t. I, p. 230.
(6) *De pulmonibus epistola*, t. II (*Opera omnia*, t. II).
(*) Partie liquide ou *solution fibrino-albumineuse et saline* du sang.

obligé de faire intervenir le système nerveux et la force vitale dans l'acte de la sécrétion.

Dans l'étude du mécanisme des sécrétions, nous avons donc à examiner la part qui revient au *fluide sanguin*, au *système nerveux* et à la *glande* elle-même.

Déjà nous avons dit que le sang apporte à toutes les glandes les éléments de leur sécrétion : c'est par sa partie fluide seule ou *plasma* qu'il les fournit, car jamais, dans les conditions physiologiques, les globules sanguins ne traversent les parois des vaisseaux. Il n'est pas possible de démontrer, d'une manière positive, que cette partie fluide ait une composition différente pour les différentes glandes; mais, après avoir admis que le sang n'est pas partout composé identiquement des mêmes matériaux, on a supposé que le liquide qui transsude des vaisseaux n'est pas non plus partout le même. Évidemment cela ne saurait suffire pour établir (il est bon de le répéter) que le sang apporte tout préparés aux glandes les produits qui doivent être sécrétés. — Quelle que soit la composition du sang, plus il sera liquide, plus abondantes seront les sécrétions : nous avons déjà dit qu'en effet c'est l'eau surtout qui augmente dans les produits de sécrétion devenus plus abondants. — La tension du sang, suivant qu'elle augmente ou qu'elle diminue, fait augmenter ou diminuer l'abondance des sécrétions. — Le ralentissement que peut subir la circulation dans les tissus glandulaires est sans contredit un des artifices destinés à favoriser la transsudation des parties fluides du sang et conséquemment la sécrétion. — Enfin, sans accepter les opinions de Descartes, il convient de rappeler que les capillaires ne paraissent avoir ni le même diamètre, ni la même disposition dans les différents tissus glandulaires.

Maintenant est-ce des artères ou des veines que provient le sang destiné à servir aux sécrétions? Il est généralement admis que c'est du sang artériel, à son passage dans le système capillaire, que proviennent les matériaux devant servir soit à la nutrition, soit aux sécrétions. Mais nous aurons à revenir plus tard sur la question de savoir si le foie de tous les animaux et les reins des ovipares ne feraient pas exception à cette règle. Quoi qu'il en soit, il importe de rappeler, dès maintenant, que dans ces derniers organes le sang veineux est réparti à la manière du sang artériel, et que, par conséquent, son plasma doit pouvoir s'échapper à travers les parois des capillaires tout aussi bien que celui du sang artériel, pour éprouver, comme lui, des modifications en rapport avec ces sécrétions dépuratoires. — Nous n'avons pas à examiner ici comment s'opère ce passage.

L'*influence du système nerveux* sur la fonction de sécrétion est réelle, mais elle ne paraît point nécessaire. Les végétaux, en effet, qui n'ont pas de nerfs, et beaucoup d'animaux inférieurs chez lesquels il n'est pas possible de démontrer l'existence d'un système nerveux, présentent des organes de sécrétion, ou tout au moins des tissus qui sécrètent. On a vu d'ailleurs des fœtus anencéphales de mammifères chez qui les sécrétions intra-utérines s'étaient faites alors même qu'il avait été impossible de trouver aucune trace du grand sympathique.

Mais, dans l'état normal, quel est celui des deux systèmes de nerfs qui influence plus spécialement la sécrétion? L'expérimentation établit que c'est surtout, mais non exclusivement, le système des nerfs ganglionnaires. — La sécrétion du suc gastrique continue après la section des nerfs vagues; la section du nerf trijumeau

n'entraîne point la suppression de la salive et des larmes (*); la paralysie de la moitié inférieure de la moelle n'empêche pas la sécrétion spermatique, etc.

Il ne faudrait pas conclure de ce qui précède que les nerfs cérébro-spinaux, en général, n'ont aucune influence sur la sécrétion ; ils en ont une incontestable, mais seulement moins active que celle du grand sympathique, à cause des raisons, que nous allons faire connaître.

Nul doute que les vaisseaux sanguins ne soient doués d'une contractilité vivante régie par les fibres nerveuses qui les accompagnent. Or, ces fibres, ou plutôt ces tubes nerveux *vaso-moteurs* (associés à la fois au grand sympathique et à des nerfs cérébro-spinaux), pour arriver à leur destination, traversent, en grand nombre, surtout les ganglions du grand sympathique; de là l'intervention de ce nerf reconnue plus importante dans les phénomènes de circulation capillaire, de nutrition, de *sécrétion* et de production de chaleur. En augmentant ou en diminuant, par les divers états de contraction ou de dilatation des vaisseaux, la vitesse du cours du sang et la tension sanguine, cette portion spéciale du système nerveux peut déjà sans doute amener des changements dans les précédents actes de la vie végétative; mais ce système *vaso-moteur*, dont l'origine est dans l'axe cérébro-spinal, se borne-t-il, en effet, à agir seulement comme régulateur du cours du sang? S'il en est ainsi, il faudrait admettre que la nutrition est le résultat d'une force inhérente à toutes les molécules animales vivantes, que l'action chimico-vitale de la substance glandulaire, en particulier, joue le rôle le plus important dans le travail de la sécrétion, etc. Mais, d'autre part, ne pourrait-on pas supposer aussi que cette action, qui varie dans chaque glande, ne subsiste elle-même qu'à la faveur de l'influence nerveuse, influence alors plus *directe* qui consisterait à éveiller ou à entretenir, dans le tissu propre de chaque partie, les propriétés spéciales que chaque partie possède?

Quoi qu'il en soit du mode réel d'influence du système nerveux sur la sécrétion, on sait que les émotions morales peuvent les augmenter, les diminuer ou les modifier : la vue, l'odeur, l'idée des aliments, activent la sécrétion salivaire, une émotion pénible peut la supprimer (**); la joie ou les douleurs modérées font couler les larmes, trop violentes elles les retiennent; l'approche de son enfant fait monter le lait dans le sein de la mère; la colère suspend la sécrétion de la bile, la frayeur couvre le corps d'une sueur froide, etc.

Certaines sécrétions intermittentes ne s'opèrent même que sous l'influence d'émotions particulières : telles seraient la sécrétion du venin des serpents, etc., celle de l'encre des seiches, de la pourpre, de quelques mollusques gastéropodes, et beaucoup d'autres encore dans toutes les classes d'animaux.

Il est très vraisemblable que c'est par l'intermédiaire du système nerveux que les émotions morales agissent, quand elles augmentent, diminuent ou suppriment une sécrétion : ces effets différents paraissent résulter de l'état de la contractilité dans les vaisseaux sanguins et dans les conduits excréteurs, qui peuvent être dilatés ou plus ou moins resserrés sur eux-mêmes, suivant l'*ordre d'influence nerveuse*. — L'étude détaillée du système nerveux, considéré dans ses rapports avec les actes de

(*) Voir ci-dessus (p. 234), et mon *Traité d'anat. et de physiol. du syst. nerv.* Paris, 1842, t. II, p. 164, 178, pour l'exposé de mes expériences à ce sujet.

(**) On raconte que les Indiens mettent à profit cette circonstance dans leurs enquêtes judiciaires. Pour découvrir le coupable au milieu de plusieurs individus, on donne à chacun une petite quantité de riz à garder dans la bouche pendant quelques minutes : celui-là est le coupable dont la bouche est la plus sèche à la fin de l'épreuve.

a vie végétative, et notamment avec les *sécrétions*, sera reprise, plus tard, dans ne autre partie de cet ouvrage. Disons pourtant à l'avance que de cette étude il st résulté que deux influences nerveuses différentes sont transmises aussi bien aux arois contractiles des divisions vasculaires en général qu'au cœur lui-même, nfluences *excito-motrice et antagoniste* (ou positive et négative) desquelles dépend contraction ou le relâchement forcé de ces parties (*).

La part que prennent à la sécrétion les systèmes vasculaire et nerveux étant ainsi ite, il nous reste à examiner quelle est celle de l'organe ou du tissu sécréteur lui-ème. Les détails anatomiques dans lesquels nous sommes entré permettent, en rnière analyse, de considérer tout organe de sécrétion comme une membrane sur quelle se ramifient des vaisseaux sanguins, ou plutôt comme une cellule vivant ne vie propre et se nourrissant au moyen du plasma du sang. Mais cette cel-le diffère des autres, de celles qui entrent dans la structure des autres organes, r cette circonstance que, son évolution une fois achevée, elle aboutit à une mem-ane tégumentaire pour être rejetée à sa surface. Tout follicule, toute glande oprement dite n'est, en réalité, qu'un diverticulum, un cæcum de la membrane 'enveloppe du corps (peau ou muqueuse), et les produits de sécrétion ne sont que exhalation sanguine qui s'opère à la surface de ces tissus, exhalation modifiée par 'activité propre des cellules représentant l'épiderme ou l'épithélium de ces dépen-ances tégumentaires.

Il existe, à la vérité, des membranes sécrétantes qui n'offrent pas les conditions ue nous venons d'indiquer : telles sont, par exemple, les séreuses articulaires ou es séreuses splanchniques. Mais aussi on fait remarquer qu'elles présentent des hénomènes d'*exhalation* plutôt que de véritable sécrétion.

Lorsqu'on met à découvert, en un point quelconque du corps, un vaisseau apillaire, on voit aussitôt suinter un liquide analogue au sérum du sang, mais d'une composition chimique différente : c'est le *plasma sanguin*. Les capillaires, qui se ramifient sur la membrane sécrétante laissent de même suinter un liquide qui fournit l'élément principal de la sécrétion. Y a-t-il là un simple phénomène d'exosmose? Déjà nous avons dit, à propos de l'absorption (**), que les lois de l'endosmose ne rendaient pas compte, dans l'organisme vivant, de *tous* les cas où l'on voit un liquide traverser les tissus. Nous ne reviendrons pas ici sur les détails dans lesquels nous sommes déjà entré, et nous répéterons seulement qu'il y a assurément quelque chose de plus qu'un phénomène de cette nature dans l'issue du plasma du sang à travers les parois des vaisseaux, et dans les mys-térieux effets qui en résultent.

Déjà modifié en sortant des tubes capillaires qui le contenaient, le plasma est absorbé par une cellule du tissu sécréteur qui le modifie davantage, et, en vertu le propriétés organiques, s'en assimile une partie et rejette une quantité équiva-

(*) Ainsi, par exemple, la galvanisation du bout périphérique de la *corde du tympan*, liée ou coupée, met les vaisseaux de la glande sous-maxillaire dans l'état de *relâchement* ou de dilatation paralytique, tandis que, si l'on galvanise les filets nerveux du grand sympathique qui se rendent à cette glande, les mêmes vaisseaux se resserrent, et cessent bientôt d'être perméables au sang. (Cl. BERNARD. — La galvanisation de la moelle allongée ou des nerfs pneumogastriques *arrête* les battements du cœur, qui tombe dans le *relâchement*, pendant que le même genre d'excitation appli-quée à la portion cervicale du grand sympathique provoque la *contraction* ou le resserrement du cœur et accélère les battements de cet organe. (ED. et E. H. WEBER.)

(**) Voir ci-dessus, p. 401-403.

continues, *rémittentes* et *intermittentes* : aux premières est confié un rôle de dépuration qui ne pourrait s'interrompre sans danger pour l'organisme (urine, bile, etc.); quant aux secondes, sans cesser jamais, elles augmentent ou diminuent de quantité suivant diverses circonstances (sueur, salives sous-maxillaire et sublinguale, etc.); enfin, pour les troisièmes, elles se suspendent par intervalles et d'une manière plus ou moins complète (salive parotidienne, suc gastrique, suc pancréatique, etc.). — Plus loin, nous dirons comment les sécrétions ont été classées au point de vue de leur composition chimique.

L'utilité de la sécrétion, son indispensable nécessité, n'ont pas besoin d'être démontrées : puisque les corps vivants ont la propriété d'absorber, et que leurs dimensions sont fatalement circonscrites dans de certaines limites, il fallait bien que les substances absorbées en excès pussent être éliminées. Toutefois cette utilité en quelque sorte mécanique n'est pas la seule, elle est même la moindre : on pourrait comprendre, en effet, que l'absorption fût restreinte aux besoins de la nutrition et qu'elle n'offrît jamais d'excédant à rejeter. Mais on sait que les molécules qui constituent les corps vivants ne restent pas inaltérables, elles vivent toutes en quelque sorte d'une vie propre, puis elles subissent une série de modifications, de transformations telles, qu'après un certain temps elles deviennent inutiles, et même deviendraient nuisibles si elles n'étaient expulsées : cette expulsion est l'œuvre des sécrétions. Aussi Marshall-Hall (1) a-t-il cru devoir dire que « les fonctions d'égestion sont encore plus immédiatement nécessaires à la conservation de la vie que celles d'ingestion. »

Dans les animaux supérieurs, toute substance passe nécessairement dans le torrent circulatoire avant d'être assimilée; de même aussi toute substance y rentre pour être excrétée. Mais ce serait une erreur de croire qu'on trouve tout formés, dans le sang, les divers produits de sécrétion : si quelques-uns y existent tout constitués, d'autres ne s'y rencontrent que dans leurs éléments. — Ainsi Prévost et Dumas ont démontré la présence de l'*urée* dans le sang d'animaux auxquels les reins avaient été enlevés ; Simon et Marchand, dans le sang normal des ruminants ; et Garrod dans celui de l'homme (*). — L'*acide urique* existe non-seulement dans le sang des goutteux, mais même à l'état normal et en combinaison avec la soude. On a également trouvé de l'*acide hippurique* combiné avec ce dernier alcali. — On admet aussi qu'on y rencontre de la *créatine*, de la *créatinine*, et de l'acide *lactique* sous forme de lactates alcalins. — Il est facile d'y reconnaître la présence de la *cholestérine* et d'autres matières grasses; mais on ne peut qu'y supposer l'existence de la matière colorante de la bile, *biliverdine*. — Il n'est pas possible de démontrer que le sang contienne de la *caséine*, du moins en quantité suffisante pour la sécrétion lactée, non plus que de l'*acide butyrique* qui résulte sans doute de transformations subies par les matières grasses du sang, etc., etc.

Il est possible que la chimie parvienne à démontrer ultérieurement que les principes immédiats de toutes les sécrétions existent réellement dans le sang; mais, en admettant qu'il en soit ainsi, il n'en faudrait pas conclure que la sécrétion ne consiste que dans le passage direct de ces principes à travers les organes sécréteurs. En effet, si les analyses les plus parfaites ont pu retrouver dans le sang des

(1) *Gulstonian Lectures*, 1842.

(*) Le sang des goutteux et celui des albuminuriques contiennent de l'*urée* en proportion plus considérable que de coutume (MAZUYER et GARROD).

traces des principes excrétés, en n'en retrouvant que des traces elles établissent que ces principes doivent nécessairement se former dans les organes sécréteurs eux-mêmes : ainsi, d'après Garrod, dans 1000 grammes de sérum de sang humain, il n'y aurait que 0,005 d'urée et 0,002 d'acide urique, quantités insuffisantes pour la sécrétion urinaire, etc.

Les produits de sécrétion peuvent être solides, liquides ou gazeux. — Parmi les premiers, on ne pourrait guère compter que les fanons, les dents, les poils, les ongles, les plumes, qui se rapprochent des sécrétions par leur mode de formation et s'en éloignent par leurs usages. Toutefois, au dire de Paget (1), les poils auraient pour action de séparer du sang le bisulfite de protéine ; mais on ne voit pas que leur présence ou leur absence modifie, d'une manière sensible, la composition du liquide sanguin. Le suif et la graisse, les matières sébacées, le cérumen des oreilles, bien que solides à la température ordinaire, paraissent sécrétés à l'état liquide. — Les sécrétions liquides sont, de beaucoup, les plus nombreuses. Ce sont : la salive, le suc gastrique, le fluide pancréatique, le suc intestinal, la bile, l'urine, les larmes, le mucus, le sperme, le lait. Certaines sécrétions peuvent être à l'état liquide ou à celui de vapeur, comme la sérosité des membranes articulaires, des membranes séreuses, la sueur, etc. : ces divers produits ne sont liquides que quand ils ont été sécrétés en grande abondance ou condensés par le froid. — La transpiration insensible constitue la seule sécrétion gazeuse véritable, à moins qu'avec divers auteurs, on ne veuille considérer comme une sécrétion l'exhalation de l'acide carbonique par les poumons. Chez les poissons, on a voulu aussi parfois envisager comme un produit gazeux de sécrétion les fluides aériformes qui remplissent la vessie natatoire. Quant aux gaz contenus dans les intestins, on admet qu'ils y sont formés plutôt par exhalation que par sécrétion.

Il n'est aucun caractère physique commun à toutes les sécrétions : elles diffèrent de couleur, d'odeur, de densité ; aussi paraît-il y avoir encore beaucoup plus de diversité entre les produits de sécrétion qu'entre les organes sécréteurs eux-mêmes.

La composition chimique n'est pas moins différente dans les sécrétions. Sous ce rapport, Tiedemann (2) divise en six grandes classes les fluides sécrétés dans l'économie animale : 1° les liquides séreux qui ressemblent au sérum du sang et sont composés d'une grande quantité d'eau, d'un peu d'albumine dissoute et des sels existant dans cette dernière (sérosité du tissu cellulaire, liquides des membranes séreuses et articulaires, des chambres de l'œil, de la capsule cristalline et du labyrinthe de l'oreille) ; — 2° les liquides albumineux, qui se distinguent par une grande quantité d'albumine (suc pancréatique, sperme, liquide des vésicules de de Graaf, etc.) ; — 3° les liquides muqueux, dans lesquels le mucus animal est le principe prédominant (mucus du tube digestif, des voies respiratoires, des organes génito-urinaires, et aussi le liquide sécrété à la surface de la peau chez la plupart des animaux qui vivent dans l'eau) ; — 4° les liquides gras ou huileux (graisse du tissu cellulaire, moelle des os, liquides des cryptes de la peau, cérumen des oreilles, fluides gras du prépuce, de l'entrée des parties génitales de la femme, fluide des glandes anales, huile de la glande coccygienne des oiseaux, cire des

(1) *Lectures on Nutrition* (*London Med. Gaz.*, 1847).
(2) *Physiol. génér. et comp.*, 2e part., p. 437 et suiv., édit. franç.

abeilles, etc.); — 5° les liquides contenant beaucoup de sels et la plupart du temps des substances animales particulières (salive, bile, urine, larmes, etc.); — 6° les liquides dans lesquels les acides prédominent (sueur, venin des abeilles, liquides que lancent les fourmis, etc.).

La distinction des sécrétions en acides et en alcalines, suivant qu'elles doivent être complétement expulsées ou servir ultérieurement à d'autres fonctions, n'est pas fondée dans la totalité des cas. — La présence ou l'absence de globules ne saurait non plus servir à distinguer les produits sécrétés en récrémentitiels et excrémentitiels.

La quantité des produits de sécrétion varie suivant un grand nombre de circonstances. En général, elle est beaucoup plus considérable qu'on ne serait tenté de le supposer : ainsi, dans les végétaux, elle est telle que, d'après Martino (1), la quantité de transpiration d'un chou s'élèverait à 23 onces dans les vingt-quatre heures; suivant Lehmann (2), un chien sécrète, en vingt-quatre heures, une quantité de suc gastrique équivalente au dixième du poids total du corps; les recherches de Bidder et Schmidt (3) ont établi qu'un lapin sécrète, dans le même temps, un huitième de son poids de bile, etc.

Certaines sécrétions peuvent être considérées comme complémentaires l'une de l'autre: ainsi chacun sait que la quantité de la sécrétion urinaire est en raison inverse de la quantité de la transpiration cutanée ; chez les animaux qui ne transpirent pas par la peau, l'exhalation pulmonaire supplée à l'exhalation cutanée, etc. — Mais, s'il est certaines substances qui peuvent être excrétées presque indistinctement par une voie ou par une autre, il en est aussi qui ne peuvent être sécrétées que par des organes spéciaux. L'eau, qui constitue la base de presque toutes les sécrétions, peut être rejetée par la peau, par les muqueuses, par les diverses glandes, presque aussi bien que par les reins: aussi, quand une sécrétion augmente de quantité, est-ce principalement la partie liquide qui constitue cette augmentation à laquelle les parties solides (au moins les parties organiques) ne contribuent presque pas ou même pas du tout.

L'abondance d'une sécrétion n'est pas constante, et, d'une manière générale, on peut dire qu'elle est plus grande pendant que s'exerce la fonction à laquelle elle concourt que pendant la période de repos: la sécrétion de la salive augmente considérablement pendant la mastication, celle du liquide pancréatique pendant la digestion, etc. — Plusieurs sécrétions ne sont que temporaires : telles sont celles qui sont relatives aux fonctions génitales, qui ne commencent qu'à la puberté et finissent à la vieillesse. La sécrétion lactée est non-seulement temporaire, limitée à la période où la mère nourrit ses petits, mais encore elle n'appartient qu'à un seul sexe : les exemples de production de lait chez les individus mâles sont une exception assez rare pour qu'on n'en doive tenir que peu de compte.

Rappelons, en passant, qu'il existe des sécrétions pathologiques qui n'ont pas leurs analogues dans les conditions normales, et des sécrétions modifiées dans leur composition sous des influences morbides. Chacun connaît les propriétés virulentes

(1) Cité par TIEDEMANN, *Physiol. génér. et comp.*, 2e part., p. 128, trad. de Jourdan. Paris, 1831.
(2) *Précis de chimie physiologique animale*, trad. franç. Paris, 1855, p. 189.
(3) *Die Verdauungssäfte*, etc., p. 209.

qu'acquièrent la salive chez les animaux atteints d'hydrophobie, le mucus des voies génitales chez les individus affectés de syphilis, etc.

Quelle que soit la diversité de composition des sécrétions, chacune d'elles a une composition à peu près constante dans les conditions ordinaires, mais que diverses circonstances peuvent néanmoins faire varier. Ainsi les substances non assimilables introduites dans l'économie en sortent par les sécrétions, non pas indistinctement par l'une ou par l'autre, mais suivant un mode d'élection facile à constater. — Il est admis généralement que les acides minéraux sont éliminés surtout par le fluide gastrique; — les alcalis, le sel de nitre, les principes résineux, par les urines; — l'iodure de potassium, les sels mercuriels par la salive, etc. A quelle loi obéissent les sécrétions dans ces circonstances, nous l'ignorons, aussi bien que nous ignorons celle qui préside au mécanisme des sécrétions à l'état normal.

Si l'on considère que tous les tissus possèdent la propriété de *choisir* dans le liquide ambiant les éléments propres à leur nutrition, on sera tenté de croire que les tissus particuliers, des organes spéciaux ne sont pas nécessaires pour *choisir* les éléments des sécrétions : ce serait une erreur, et l'existence même d'agents sécréteurs pourrait servir à établir une distinction réelle entre la nutrition et la sécrétion.

Les organes sécréteurs proprement dits, les *glandes*, sont loin d'être partout semblables. — Jusqu'au dix-septième siècle, les anatomistes n'eurent aucune idée de la structure de ces organes, desquels ils ne s'appliquaient à étudier que la forme extérieure et la situation. A Malpighi (1) sont dues les premières notions sur la texture intime du parenchyme glandulaire. Cet observateur célèbre admit que les conduits excréteurs des glandes se terminent en culs-de-sac à forme vésiculeuse (*acini*). A ses yeux, toute glande serait constituée par une série de petits grains disposés sur les conduits excréteurs comme les grains d'une grappe de raisin sur leur tige. Malpighi n'était pas complétement dans le vrai, puisque certaines glandes, telles que le rein, le testicule, les glandes de Lieberkühn, etc., ne présentent pas d'*acini* ou culs-de-sac vésiculaires, mais bien des tubes cylindriques, droits ou plus ou moins flexueux. Il avait néanmoins découvert ce fait important, que les glandes sont formées par l'épanouissement des conduits excréteurs, fait que des recherches ultérieures sont venues confirmer de tous points. — Ramenée à la plus simple expression, une glande peut toujours se définir, d'après Malpighi : « *une cavité close avec un conduit excréteur.* » Pour lui, les *acini* représentent la division ultime des glandes : les auteurs modernes ont poussé l'investigation plus loin, et, avec leur microscope perfectionné, ils ont pu reconnaître que les acini sont eux-mêmes formés par un agrégat de cellules communiquant entre elles et s'ouvrant dans un même conduit excréteur.

Quelques années plus tard que Malpighi, Ruysch (2), s'appuyant de ses admirables injections, avança que les glandes étaient essentiellement constituées par des vaisseaux sanguins venant s'aboucher directement avec les canaux excréteurs. Des études postérieures ont prouvé que ces deux systèmes de canaux sont indépendants, et que leur communication est toujours le résultat d'une déchirure produite sous l'effort de la substance injectée.

(1) *De viscerum structura exercit. anatom.*, trad. franç. Paris, 1687, in-12.

(2) *Opusculum anatom. de fabr. glandul. in corp. hum.*, p. 46 et seq. Amsterdam, 1733, in-4.

L'étude de la texture du système glandulaire n'a réellement fait de nouveaux progrès que depuis un petit nombre d'années, grâce au perfectionnement des moyens d'observation. Cependant beaucoup de points restent encore obscurs, et les auteurs qui se sont le plus occupés de ce sujet, J. Müller (1), Kölliker (2), Henle (3), etc., sont loin d'être d'accord, même sur ce que l'on doit désigner sous le nom de *glande*.

L'idée la plus générale qu'on puisse se faire d'une glande, est celle d'un organe propre à soustraire de la masse totale du sang qui le traverse certains principes destinés à être déversés à la surface de la peau ou des membranes muqueuses : sécrétion et excrétion, tel est donc le rôle d'une glande.

La partie la plus essentielle des glandes est représentée par leur *élément sécréteur*, qui consiste en cellules ou vésicules particulières. Quant à ce qui concerne l'*élément excréteur*, certaines glandes, et ce sont de beaucoup les plus nombreuses, peuvent excréter sans cesse leur produit à l'aide de conduits toujours ouverts; d'autres, au contraire (ovaires, follicules clos de l'intestin, glandes biliaires d'un grand nombre d'invertébrés), semblent s'ouvrir par déhiscence et d'une façon intermittente. — Ainsi, ce qui caractérise le tissu glandulaire et le différencie de tous les autres tissus, c'est la présence de cellules spéciales qu'il nous faut étudier et dont le rôle consiste à extraire du sang, souvent aussi à élaborer certains matériaux qui, une fois sécrétés, doivent se rendre aux surfaces tégumentaires.

Il y aura donc lieu de faire une classe à part de la *rate*, du *corps thyroïde*, du *thymus* et des *capsules surrénales*, qui possèdent, il est vrai, des cellules propres en rapport fonctionnel avec la constitution du sang, mais dont le produit, faute de canaux excréteurs, n'est point versé à la surface cutanée ou muqueuse.

Un épithélium spécial, nucléaire ou autre, et une substance amorphe qui constitue les parois des tubes sécréteurs, — des fibres musculaires lisses, — des éléments fibro-plastiques, — du tissu conjonctif, — des vaisseaux sanguins et lymphatiques, — des nerfs, — tels sont les divers éléments qu'on observe dans les glandes.

La cellule sécrétante, ou élément caractéristique, est le plus souvent polygonale ou cylindrique. On pourrait la confondre avec les cellules épithéliales ordinaires, mais elle en diffère essentiellement en ce qu'elle renferme dans son intérieur des matériaux particuliers, tels que ceux de la bile, du suc gastrique, etc.

Kölliker rattache aux quatre types suivants les formes principales de l'élément sécréteur des glandes : 1° Réseau de cellules solides et sans membrane d'enveloppe : on les trouve dans le foie. 2° Vésicules closes entourées d'une membrane fibreuse et pourvues d'épithélium : les vésicules de de Graaf, les follicules du corps thyroïde, peut-être aussi le thymus. 3° Vésicules glandulaires ouvertes, arrondies ou allongées, avec une membrane propre et un épithélium : on les rencontre dans les *glandes en grappe*. 4° Gaînes glandulaires ouvertes avec une membrane propre ou une membrane fibreuse et un épithélium : elles s'aperçoivent dans les *glandes en tube*.

Suivant le même observateur, les vraies glandes peuvent être groupées dans

(1) *De glandularum secernentium structura penitiori, etc. comment. anatom.* Lipsiæ, 1830.
(2) *Éléments d'histologie humaine*, trad. franç. Paris, 1856, p. 54 et suiv.
(3) *Anat. génér.*, trad. de Jourdan. Paris, 1843, t. II.

s divisions qui suivent, d'après la forme de leurs derniers éléments : glandes avec ésicules glandulaires closes qui s'ouvrent par déhiscence (ovaire, etc.) ; — glandes ont le parenchyme consiste en cellules assemblées sous forme de réseau (foie) ; — glandes en grappe (simples ou composées) ; — glandes en tube (simples ou omposées).

Dans la classification le plus généralement admise, sans doute parce qu'elle est plus simple, on distingue des follicules, des glandes en tube et d'autres en appe.

Les *follicules* représentent cette forme rudimentaire de glande que l'on rencontre principalement, mais non exclusivement, chez les animaux d'un ordre inférieur. Il en est qui offrent un orifice permanent, comme les follicules du col érin, etc. ; d'autres s'ouvrent de temps à autre par déhiscence, comme les vésicules closes de de Graaf. Les nombreuses vésicules qui tapissent la surface intestinale, des annélides et qui crèvent de temps en temps pour laisser écouler la bile, se ttachent également à ce groupe. Il est présumable que les *follicules agminés* qui nstituent les plaques de Peyer versent aussi leur produit par déhiscence, etc.

Les *glandes en tube* sont tantôt simples et tantôt composées. — Les *simples* nt formées parfois d'un tube droit terminé en cæcum ou d'un petit nombre de ubes de cette espèce (l'estomac et l'intestin renferment beaucoup de ces sortes e glandes) ; d'autres fois le tube unique est enroulé, pelotonné sur lui-même de çon à représenter un petit grain (les glandes sudoripares et les glandes cérumineuses du conduit auditif en sont des exemples). Les glandes en tube *composées* nt celles qui offrent un plus ou moins grand nombre de tubes ramifiés ou reliés ntre eux sous forme de réseau : le rein et les testicules sont les principales ndes de ce genre.

Quant aux *glandes en grappe*, elles sont aussi simples ou composées, et ces eux espèces ne diffèrent l'une de l'autre que par la disposition du conduit excréteur. — Dans les glandes en grappe *simples*, le conduit excréteur n'est pas ramifié, mais la cavité du saccule qui les compose est divisée, à son intérieur, par es saillies membraneuses, en plusieurs compartiments qui tous aboutissent au nduit central : telles sont les glandes sébacées, les glandes de Meibomius, celles ui entourent la base du mamelon, celles qui forment la caroncule lacrymale, etc. es glandes en grappe *composées* sont très nombreuses, et présentent un conduit xcréteur ramifié : tantôt ce conduit se divise, à la manière des vaisseaux, en ranches de plus en plus petites, et tantôt naissent irrégulièrement de ses parties latérales, à angle droit, des rameaux plus déliés qui se subdivisent à leur tour. Les ameaux glanduleux (*acini* de Malpighi) se réunissent pour former des lobules indépendants les uns des autres, et ceux-ci forment des *lobes*. Les glandes salivaires, acrymale, mammaire, le pancréas, etc., appartiennent à cette classe de glandes.

L'étude de la structure intime des principaux organes de sécrétions ne pouvait manquer de jeter quelque jour sur la manière suivant laquelle elles s'opèrent. Mais on n'a pas attendu jusque-là pour émettre des idées théoriques sur le *mécanisme des sécrétions*.

L'idée la plus simple, et qui semble s'être présentée la première à l'esprit, se trouve déjà exprimée dans Asclépiade de Bithynie (1). Il suppose que les tissus à travers lesquels s'opère une sécrétion représentent des cribles qui laissent passer

(1) GALIEN, *De nat. facult.* lib. I. p. 92.

n'entraîne point la suppression de la salive et des larmes (*); la paralysie de la moitié inférieure de la moelle n'empêche pas la sécrétion spermatique, etc.

Il ne faudrait pas conclure de ce qui précède que les nerfs cérébro-spinaux, en général, n'ont aucune influence sur la sécrétion ; ils en ont une incontestable, mais seulement moins active que celle du grand sympathique, à cause des raisons, que nous allons faire connaître.

Nul doute que les vaisseaux sanguins ne soient doués d'une contractilité vivante régie par les fibres nerveuses qui les accompagnent. Or, ces fibres, ou plutôt ces tubes nerveux *vaso-moteurs* (associés à la fois au grand sympathique et à des nerfs cérébro-spinaux), pour arriver à leur destination, traversent, en grand nombre, surtout les ganglions du grand sympathique; de là l'intervention de ce nerf reconnue plus importante dans les phénomènes de circulation capillaire, de nutrition, de *sécrétion* et de production de chaleur. En augmentant ou en diminuant, par les divers états de contraction ou de dilatation des vaisseaux, la vitesse du cours du sang et la tension sanguine, cette portion spéciale du système nerveux peut déjà sans doute amener des changements dans les précédents actes de la vie végétative; mais ce système *vaso-moteur*, dont l'origine est dans l'axe cérébro-spinal, se borne-t-il, en effet, à agir seulement comme régulateur du cours du sang? S'il en est ainsi, il faudrait admettre que la nutrition est le résultat d'une force inhérente à toutes les molécules animales vivantes, que l'action chimico-vitale de la substance glandulaire, en particulier, joue le rôle le plus important dans le travail de la sécrétion, etc. Mais, d'autre part, ne pourrait-on pas supposer aussi que cette action, qui varie dans chaque glande, ne subsiste elle-même qu'à la faveur de l'influence nerveuse, influence alors plus *directe* qui consisterait à éveiller ou à entretenir, dans le tissu propre de chaque partie, les propriétés spéciales que chaque partie possède?

Quoi qu'il en soit du mode réel d'influence du système nerveux sur la sécrétion, on sait que les émotions morales peuvent les augmenter, les diminuer ou les modifier : la vue, l'odeur, l'idée des aliments, activent la sécrétion salivaire, une émotion pénible peut la supprimer (**); la joie ou les douleurs modérées font couler les larmes, trop violentes elles les retiennent; l'approche de son enfant fait monter le lait dans le sein de la mère; la colère suspend la sécrétion de la bile, la frayeur couvre le corps d'une sueur froide, etc.

Certaines sécrétions intermittentes ne s'opèrent même que sous l'influence d'émotions particulières : telles seraient la sécrétion du venin des serpents, etc., celle de l'encre des seiches, de la pourpre, de quelques mollusques gastéropodes, et beaucoup d'autres encore dans toutes les classes d'animaux.

Il est très vraisemblable que c'est par l'intermédiaire du système nerveux que les émotions morales agissent, quand elles augmentent, diminuent ou suppriment une sécrétion : ces effets différents paraissent résulter de l'état de la contractilité dans les vaisseaux sanguins et dans les conduits excréteurs, qui peuvent être dilatés ou plus ou moins resserrés sur eux-mêmes, suivant l'*ordre d'influence nerveuse*. — L'étude détaillée du système nerveux, considéré dans ses rapports avec les actes de

(*) Voir ci-dessus (p. 234), et mon *Traité d'anat. et de physiol. du syst. nerv.* Paris, 1842, t. II, p. 164, 178, pour l'exposé de mes expériences à ce sujet.

(**) On raconte que les Indiens mettent à profit cette circonstance dans leurs enquêtes judiciaires. Pour découvrir le coupable au milieu de plusieurs individus, on donne à chacun une petite quantité de riz à garder dans la bouche pendant quelques minutes : celui-là est le coupable dont la bouche est la plus sèche à la fin de l'épreuve.

ie végétative, et notamment avec les *sécrétions*, sera reprise, plus tard, dans e autre partie de cet ouvrage. Disons pourtant à l'avance que de cette étude il résulté que deux influences nerveuses différentes sont transmises aussi bien aux ois contractiles des divisions vasculaires en général qu'au cœur lui-même, uences *excito-motrice et antagoniste* (ou positive et négative) desquelles dépend ontraction ou le relâchement forcé de ces parties (*).

a part que prennent à la sécrétion les systèmes vasculaire et nerveux étant ainsi , il nous reste à examiner quelle est celle de l'organe ou du tissu sécréteur lui-me. Les détails anatomiques dans lesquels nous sommes entré permettent, en ière analyse, de considérer tout organe de sécrétion comme une membrane sur elle se ramifient des vaisseaux sanguins, ou plutôt comme une cellule vivant e vie propre et se nourrissant au moyen du plasma du sang. Mais cette cel-diffère des autres, de celles qui entrent dans la structure des autres organes, cette circonstance que, son évolution une fois achevée, elle aboutit à une mem-e tégumentaire pour être rejetée à sa surface. Tout follicule, toute glande rement dite n'est, en réalité, qu'un diverticulum, un cæcum de la membrane veloppe du corps (peau ou muqueuse), et les produits de sécrétion ne sont que halation sanguine qui s'opère à la surface de ces tissus, exhalation modifiée par tivité propre des cellules représentant l'épiderme ou l'épithélium de ces dépen-ces tégumentaires.

l existe, à la vérité, des membranes sécrétantes qui n'offrent pas les conditions nous venons d'indiquer : telles sont, par exemple, les séreuses articulaires ou séreuses splanchniques. Mais aussi on fait remarquer qu'elles présentent des nomènes d'*exhalation* plutôt que de véritable sécrétion.

orsqu'on met à découvert, en un point quelconque du corps, un vaisseau illaire, on voit aussitôt suinter un liquide analogue au sérum du sang, mais ne composition chimique différente : c'est le *plasma sanguin*. Les capillaires, i se ramifient sur la membrane sécrétante laissent de même suinter un liquide i fournit l'élément principal de la sécrétion. Y a-t-il là un simple phénomène xosmose ? Déjà nous avons dit, à propos de l'absorption (**), que les lois de ndosmose ne rendaient pas compte, dans l'organisme vivant, de *tous* les cas où n voit un liquide traverser les tissus. Nous ne reviendrons pas ici sur les ails dans lesquels nous sommes déjà entré, et nous répéterons seulement qu'il assurément quelque chose de plus qu'un phénomène de cette nature dans ue du plasma du sang à travers les parois des vaisseaux, et dans les mys-ieux effets qui en résultent.

Déjà modifié en sortant des tubes capillaires qui le contenaient, le plasma est orbé par une cellule du tissu sécréteur qui le modifie davantage, et, en vertu propriétés organiques, s'en assimile une partie et rejette une quantité équiva-

(*) Ainsi, par exemple, la galvanisation du bout périphérique de la *corde du tympan*, liée ou ée, met les vaisseaux de la glande sous-maxillaire dans l'état de *relâchement* ou de dilatation alytique, tandis que, si l'on galvanise les filets nerveux du grand sympathique qui se rendent à e glande, les mêmes vaisseaux se resserrent, et cessent bientôt d'être perméables au sang. (CL. NARD.) — La galvanisation de la moelle allongée ou des nerfs pneumogastriques *arrête* les ements du cœur, qui tombe dans le *relâchement*, pendant que le même genre d'excitation appli-e à la portion cervicale du grand sympathique provoque la *contraction* ou le resserrement du r et accélère les battements de cet organe. (ED. et E. H. WEBER.)

(**) Voir ci-dessus, p. 401-403.

lente de sa substance propre : cette partie rejetée, différente dans les divers organes sécréteurs, constitue l'élément caractéristique de chaque sécrétion.

Dans l'acte de la digestion, l'aliment introduit dans l'économie y subit des transformations diverses; une partie est assimilée, une autre rejetée, et avec celle-ci sont expulsés des débris de l'organisme, des substances organiques qui ont accompli le cycle de leurs évolutions. Ce qui se passe dans ces circonstances, se passe aussi dans les cellules des organes sécréteurs : le plasma sanguin est l'aliment, la cellule en absorbe une portion, en rejette une autre plus ou moins modifiée et en même temps une partie d'elle-même dont la vie est accomplie. Et ce n'est pas une simple comparaison que nous faisons ici, car on sait que les infiniment petits dans l'échelle animale ne sont en dernière analyse qu'une cellule.

Mais pourquoi telle glande produit-elle une sécrétion plutôt qu'une autre ? On l'ignore, et nous nous abstiendrons, ayant démontré plus haut le peu de valeur des hypothèses anciennes, d'en émettre de nouvelles. — Qu'il y ait là des phénomènes de capillarité, de double décomposition, de catalyse; que l'épaisseur et la perméabilité différentes des éléments du tissu glandulaire puissent avoir de l'influence sur la nature des produits sécrétés, c'est probable ; mais qu'il y ait encore autre chose, c'est certain. L'action sécrétante du tissu glandulaire cesse avec la vie, et il faut bien se résoudre à reconnaître, derrière les forces physiques et chimiques qu'elle met en jeu, une force inconnue qui préside à l'accomplissement de pareils phénomènes.

DES SÉCRÉTIONS EN PARTICULIER.

Les produits sécrétés dans l'économie animale sont des plus nombreux et des plus variés sous le triple rapport de leur nature, de leurs usages et de la texture intime des organes sécréteurs eux-mêmes.

Pour légitimer cette proposition, il suffit de rappeler dans une énumération rapide les sécrétions différentes, qui sont : — l'épiderme, le pigment cutané, les poils, les plumes, les ongles, les écailles, la corne, la matière sébacée, la sueur, produits de la peau ; — les dents et les fanons, sécrétions particulières à la muqueuse buccale ; — le mucus, la transpiration pulmonaire, le suc gastrique, le suc intestinal, ayant pour organe sécréteur le tégument interne ou muqueux ; — la cire et la soie des insectes, la civette, l'ambre gris, le castoréum, le musc, la pourpre, l'encre des seiches, le venin de certains serpents, des scorpions, des tarentules, etc., tous produits aussi différents par leurs propriétés que par leur destination et leur origine ; — les larmes, la salive, la bile, le suc pancréatique, l'urine, le lait, le sperme, provenant d'organes glandulaires dont les canaux excréteurs s'ouvrent à la surface cutanée ou muqueuse ; — certains produits dont la nature aussi bien que le rôle restent inconnus, et qui prendraient naissance dans les glandes vasculaires sanguines dépourvues des voies ordinaires d'excrétion ; — enfin, les sécrétions séreuses et synoviales, qui se rapprochent des produits précédents en ce sens que, comme eux, elles rentrent dans le torrent circulatoire au fur et à mesure qu'elles se forment.

Il serait superflu de faire remarquer combien ces deux derniers modes de sécrétion tendent à se confondre avec les actes de nutrition proprement dite.

Vouloir de nouveau chercher à classer tous les produits de sécrétions que nous

venons de rappeler, serait un effort sans résultat bien utile pour la science. Sachant déjà combien ont été imparfaits les différents essais de classification proposés jusqu'à présent, mettons-nous donc tout d'abord à étudier en détail, d'après un certain ordre d'affinité, les principales sécrétions de l'économie.

Parmi les fluides sécrétés, il en est deux, le *sperme* et le *lait*, qui diffèrent essentiellement de tous les autres par leur destination physiologique : ils sont en rapport avec la conservation de l'espèce, l'un servant à la fécondation, et l'autre à l'alimentation de toute une classe d'animaux vertébrés dans le premier âge de la vie. C'est par l'étude de la *sécrétion du lait* que nous commencerons l'histoire des sécrétions en particulier.

DES MAMELLES ET DE LA SÉCRÉTION DU LAIT.

I. — Les *mamelles*, organes glandulaires destinés à la sécrétion du *lait*, appartiennent généralement à la classe des glandes en grappe composées.

Elles diffèrent par leur position, — par la présence ou l'absence de mamelon, — par leur nombre, — par leur texture, qui peut offrir deux types principaux.

Situés à la partie supérieure et antérieure de la poitrine, dans l'espèce humaine, ces organes sont rudimentaires chez l'homme et très développés chez la femme adulte.

Afin d'être à la portée des petits, les mamelles, qui existent dans tous les ordres de la première classe des vertébrés, sont placées à la partie inférieure du thorax ou de l'abdomen (*). Pectorales, chez les singes, les chiroptères, les tardigrades ou paresseux, les cétacés herbivores et l'éléphant, elles sont abdominales, chez le rhinocéros, l'hippopotame, le tapir, etc., et inguinales chez les solipèdes et les ruminants. Elles peuvent être à la fois pectorales, abdominales et inguinales, comme cela s'observe notamment chez beaucoup de carnassiers et de rongeurs, qui offrent de nombreux mamelons (la chienne, la chatte, la lapine, etc.).

Dans les cétacés vrais, on les trouve profondément logées entre les muscles abdominaux et un muscle peaucier épais et large ; leur fond remonte jusque vers l'ombilic, et leurs deux orifices s'aperçoivent dans une dépression longitudinale située de chaque côté de l'ouverture de la vulve (1). — Les mamelles des marsupiaux sont renfermées dans une espèce de poche ou bourse sous-abdominale.

Dans la presque universalité des cas, sur la partie la plus saillante de la mamelle, existe un *mamelon* ou bout de sein. Il y a pourtant quelques exceptions qui méritent d'être signalées à cause des différences capitales qu'elles entraînent dans le mode d'allaitement des petits. Comme chacun le sait, le nouveau-né des mammifères ordinaires saisit le mamelon, fait le vide dans sa cavité buccale, et opère la succion du lait. Dans une série de mémoires du plus grand intérêt, M. Geoffroy Saint-Hilaire (2) vint détruire l'erreur dans laquelle les naturalistes étaient restés, en admettant ce même mode d'allaitement pour les cétacés vrais, et il démontra que, chez ces derniers, le rôle du jeune est complétement passif. En effet, la mère ne possède pas de mamelon, de bout de sein ; celui-ci

(*) Le *Myopotamus coïpu* fait exception : ses mamelles sont dorsales.

(1) Ét. Geoffroy Saint-Hilaire, *Structure et usages des glandes mammaires des Cétacés* (*Mémoires présentés à l'Acad. des sc. de Paris* en 1833 et 1834).

(2) *Mém. cit.*

est remplacé par un véritable réservoir, situé inférieur du vaste réservoir qui succède à la glande elle-même. Tout l'appareil mammaire, enveloppé dans un fourreau charnu, se vide suivant la volonté de la mère qui lance le lait dans la bouche de son petit.

Les petits des marsupiaux, et, d'après Rapp, ceux des loris, seraient aussi allaités par injection et non par aspiration. Le mamelon ne fait pourtant pas complétement défaut dans ces espèces; mais, autour de leur glande mammaire, il existe également des plans musculeux qui, en se contractant, compriment cet organe et en font jaillir le contenu.

Le nombre des glandes mammaires, ou mieux des mamelons, est, en général, en rapport avec le nombre des petits que les femelles peuvent mettre bas. Il varie de deux (cheval, éléphant, etc.), à quatorze (agouti). — On a noté, chez la femme, des cas d'absence complète de mamelles, et l'on a vu aussi d'autres fois des seins surnuméraires dans l'espèce humaine (1). Une anomalie remarquable, la présence d'une mamelle surnuméraire dans la région inguinale, a été observée chez une fille, à Marseille, en 1816, par le docteur Robert (2). Dans l'observation il est dit que, cette fille étant devenue mère, « son enfant tetait tantôt la mamelle inguinale et tantôt l'une des thoraciques. »

La structure des mamelles présente deux types distincts. Généralement, nous l'avons dit, ces glandes appartiennent à la classe des *glandes en grappe composées*, et sont formées par des lobules et des canaux ramifiés que terminent des vésicules. Mais les monotrèmes (3), et les cétacés vrais (4), font exception à la règle: chez les premiers, la glande se compose de tubes en cæcum; des tubes analogues existent chez les seconds, seulement chacun d'eux est subdivisé ou arborescent.

Dans l'espèce humaine, un tissu adipeux abondant environne de toutes parts les glandes mammaires. Chacune d'elles se compose de quinze à vingt lobes irréguliers, aplatis ou pyriformes, mesurant de 2 à 4 centimètres de diamètre, et unis entre eux par un tissu cellulaire dense et non graisseux. Chaque lobe est formé de lobules secondaires, ceux-ci de lobules primitifs, constitués eux-mêmes par des vésicules glandulaires. Larges de $0^{mm},1$ à $0^{mm},15$, ces vésicules sont tapissées par des cellules susceptibles de subir certaines transformations au moment de la lactation, ou bien même de disparaître lors de l'activité de la glande, pour redevenir visibles lorsque cesse la sécrétion. De chaque lobule primitif naissent des conduits excréteurs, qui, se réunissant à ceux des lobules voisins, viennent constituer les *canaux galactophores* ou *lactifères*. Flexueux, extensibles, demi-transparents, ces canaux passent par le centre du mamelon, et, en général, au nombre de quatorze à vingt, s'ouvrent isolément à sa surface. Au-dessous de l'aréole, ils se dilatent en de petites ampoules allongées, de 5 à 9 millimètres de largeur (*sinus lactifères*). — Tous ces canaux excréteurs paraissent composés de fibres-cellules, disposées surtout circulairement, accompagnées de beaucoup de fibres élastiques ramifiées, peu anastomosées, et de fibres lumineuses (Ch. Robin). Dans les plus volumineux, selon Kölliker (5), on trouverait

(1) *Sur les femmes multimammes* (*Journal de méd.* de CORVISART, t. IX, p. 378).
(2) *Journal général de médecine*, t. VI, p. 57.
(3) RICH. OWEN, *Philos. Transact.*, 1832.
(4) BAER, *Meckel's Archiv*, 1827, p. 569. — RAPP, *ibid.*, 1830.
(5) *Éléments d'histologie humaine*, trad. franç. Paris, 1856, p. 594.

es cellules cylindriques, tandis que des cellules polygonales formeraient le revêement intérieur de ceux qui offrent un moindre calibre. Henle (1) pense avoir onstaté l'existence de fibres musculaires longitudinales dans les parois des canaux alactophores. Nul doute que le *mamelon* et l'*aréole* ne présentent de nomreuses fibres musculaires lisses auxquelles ils doivent leur contractilité.—Autour es vésicules glandulaires, une fine injection laisse voir un réseau capillaire formé ur les vaisseaux sanguins.

Avant de parler de la sécrétion propre aux mamelles, nous rappellerons sommairement les principaux caractères physiques et chimiques du produit de cette crétion, c'est-à-dire du lait (*).

II. — Le *lait* est un liquide d'un blanc opalin, plus ou moins opaque ; sa saveur est uce et sucrée. Les globules gras ou butyreux qu'il tient en suspension causent n opacité, qui est d'autant plus grande, sous une même épaisseur, que le nombre ces globules est plus considérable : c'est en se basant sur cette observation et r la proportionnalité existant entre les principes gras et les substances solides ı lait, qu'a été institué un appareil destiné à mesurer approximativement la chesse plus ou moins grande de ce liquide en principes nutritifs. — Abanonné au repos, le lait se partage après un temps plus ou moins long en deux ouches distinctes : l'une, supérieure, que l'on nomme *crème ;* l'autre, inférieure, ui est le *lait écrémé*. La première est essentiellement formée par les globules utyreux et par la dissolution de caséum et des principes solubles du lait internés entre ces globules.

Il est bien avéré aujourd'hui que l'*alcalinité* du lait est constante dans l'état hysiologique. Mais, peu de temps après son extraction, ce liquide présente une éaction acide due à la fermentation lactique qui s'opère en lui avec la plus rande facilité. Alors l'acidité du lait va sans cesse en croissant, jusqu'à ce qu'on e voie se coaguler : cette coagulation dépend de la réaction de l'acide lactique formé sur la caséine tenue en dissolution dans la partie séreuse.

La présence de l'air est indispensable à la production du ferment qui détermine la formation de l'acide lactique ; aussi peut-on conserver du lait pendant un temps fort long, sans qu'il s'altère, si l'on a la précaution de le soumettre tous les jours à l'ébullition.

Le lait réunit dans sa composition quatre ordres de substances : 1° des matières azotées dissoutes (caséine et albumine) ; 2° des principes gras tenus en suspension ; 3° une matière sucrée particulière ; 4° enfin une quantité variable d'eau et de sels inorganiques.

Dans le lait se trouvent, par conséquent, tous les principes dont la réunion peut donner naissance à un *aliment complet*. Aussi ne doit-on pas s'étonner que ce liquide ait pu être considéré par W. Prout et beaucoup de physiologistes, comme l'*aliment type* ou *normal*. Dans les idées générales qu'il a émises sur l'alimentation, l'habile chimiste anglais, se rappelant que durant une certaine période le lait est la nourriture exclusive de l'homme et des mammifères et qu'il suffit au développement de l'organisme, a été amené à établir que tout régime

(1) *Anat. génér.*, trad. franç. de Jourdan, t. II.

(*) Voir, pour plus de détails sur le lait, le chapitre ALLAITEMENT, dans le tome II de cet ouvrage.

alimentaire doit participer plus ou moins de sa constitution : c'est-à-dire qu'indépendamment des phosphates, des chlorures et autres sels inorganiques, ce régime doit comprendre une substance azotée, un principe non azoté (corps gras ou féculent), pour équivaloir au caséum, au sucre et au beurre du lait.

Il n'est plus admis aujourd'hui que le lait soit absorbé directement par le nouveau-né. Il est, au contraire, reconnu que, préalablement à son absorption, il se coagule dans l'estomac du jeune mammifère. — Les recherches de Simon (1) à ce sujet tendent même à établir que l'estomac d'un mammifère, quel qu'il soit, ne saurait coaguler, d'une manière complète, que le lait de l'espèce à laquelle il appartient. Quant à cette coagulation, nul doute qu'elle n'ait d'abord pour but de rendre moins rapide le passage du lait dans le canal digestif, et de permettre ainsi aux éléments constituants et nutritifs de ce liquide d'être suffisamment élaborés ou transformés avant de passer dans les voies circulatoires.

III. — Connaissant les principes constitutifs du lait, il reste à rechercher quels sont ceux qui proviennent du sang, et ceux dont la formation est réservée à la glande mammaire elle-même.

L'eau, l'albumine et les sels sont certainement empruntés d'une manière directe au liquide sanguin.

Dans le lait de femme, l'*eau* varie généralement de 90 à 75 pour 100. Elle est en quantité d'autant plus considérable, que la sécrétion est plus abondante et que l'on est à une époque moins éloignée de la parturition. On a aussi remarqué que le lait du début de chaque traite, chez les animaux, contient moins d'eau que celui qu'on obtient vers la fin de cette opération.

L'*albumine* existe dans le lait, mais on l'y rencontre en proportion d'autant plus faible, que la sécrétion est de plus longue date. Le premier lait, ou colostrum, renferme beaucoup d'albumine, et la coagulation en masse de ce liquide, par la chaleur, y décèle facilement l'existence de ce principe immédiat. A une époque plus avancée, ce procédé ne donnant plus que des résultats incertains, il faut avoir recours à un autre : on ajoute, à froid, du sulfate de magnésie en excès dans du lait, de telle façon qu'il en résulte une sorte de pâte qu'on jette sur un filtre ; toute la caséine et le beurre seront retenus sur le filtre avec le sulfate de magnésie en excès, puis il filtrera un liquide limpide, débarrassé de la caséine et du beurre, mais qui contiendra de l'albumine et du sucre de lait. Par l'ébullition, on verra, en effet, se faire une coagulation qu'on n'aurait pas pu observer directement dans le lait (2).

Des phosphates, des sulfates, des carbonates, des chlorures, tous *sels* renfermés normalement dans le sang, sont aussi ceux que l'on rencontre dans le lait, où ils passent directement. Chez la femme, la proportion des substances salines peut varier de 0,15 à 0,25 pour 100.

Le phosphate de chaux, principalement, ainsi que l'avait remarqué Fourcroy, augmente dans le sérum du lait, dans les premiers temps qui suivent la parturition ; observation importante, et bien en rapport avec ce qu'on sait du rôle

(1) *Die Frauenmilch nach ihrem chemischen und physiologischen Verhalten dargestellt.* Berlin, 1838.

(2) CL. BERNARD, *Leçons sur les propriétés physiologiques et les altérations pathologiques des liquides de l'organisme.* Paris, 1859, t. II, p. 224.

essentiel que joue ce sel calcaire dans le phénomène de l'ossification. A une époque où les os de l'enfant ont déjà acquis une certaine consistance, on voit ce même sel diminuer notablement de proportion dans le lait de la nourrice.

L'albumine était abondante dans le colostrum, la *caséine* y entrait en quantité très minime. Dans le lait définitivement constitué, celle-ci devient au contraire prédominante et l'on ne retrouve plus qu'une faible proportion d'albumine; d'où l'on a inféré que la caséine n'est qu'une modification de l'albumine du sang.

On sait que, d'après divers auteurs (1), la caséine se trouve normalement dans le sang des animaux en lactation. Suivant d'autres observateurs, cette prétendue caséine, signalée dans le liquide sanguin des vaches, mais qu'on retrouve aussi dans celui des taureaux, ne serait autre chose que de l'albumine, albumine dont la coagulation par la chaleur, il est vrai, n'aurait lieu qu'après l'addition d'une goutte d'acide acétique (caractère de la caséine), à cause de la réaction alcaline du sang. De plus, cette substance ne serait pas précipitée par le sulfate de magnésie, comme la caséine du lait.

Le *beurre*, ou la graisse du lait, est regardé comme provenant du travail propre à la glande mammaire, attendu que l'analyse du sang ne dénote point, dans ce dernier liquide, la présence de la butyrine. Il varie, dans le lait de femme, de 2,90 à 3,55 pour 100.

Quant au *sucre de lait*, qui fermente très difficilement, et qui, comme la glycose, réduit les sels de cuivre dans la potasse, il varie de 3,2 à 6,24 pour 100. La glycose étant la seule espèce de sucre que, jusqu'à présent, on soit parvenu à trouver dans le sang des animaux, il a pu paraître probable que le sucre de lait ou lactine ne prend aussi naissance que dans les glandes mammaires aux dépens de la glycose. Mais on ne saurait affirmer qu'il en est ainsi : les expériences, dirigées dans le but de constater l'absence absolue de la lactine dans les liquides de l'organisme et le sang en particulier, sont des plus délicates ; il est encore possible que, dans certains cas, elle ait été confondue avec la glycose, et c'est ainsi que Winckler annonce avoir extrait de la lactine en cristaux du blanc d'œuf, où d'autres observateurs n'avaient vu que de la glycose.

Toutefois, l'absence d'accumulation dans le sang de la caséine, du beurre et de la lactine, à la suite de l'ablation de la mamelle ou de la cessation de la sécrétion du lait, tend à établir que ces divers principes se forment ou s'élaborent dans les glandes mammaires.

IV. — Existe-t-il, dans les autres classes de vertébrés, quelque organe que l'on puisse rapprocher de la glande mammaire, quelque sécrétion analogue au lait ?

« Chez les pigeons, il s'opère dans le jabot, dit John Hunter (2), après l'éclosion des œufs, une sécrétion abondante d'un *fluide laiteux* destiné à la nutrition des jeunes. Le petit pigeon, comme le petit quadrupède, est nourri, jusqu'à ce qu'il soit devenu capable de digérer l'aliment ordinaire de son espèce, par une substance qui est sécrétée par la femelle et par le mâle, et même plus abondamment par ce dernier.

(1) NATALIS GUILLOT et F. LEBLANC, *Compt. rend. de l'Acad. des sc. de Paris*, t. XXXI, p. 585. Les recherches de ces expérimentateurs ont été confirmées par celles de PANUM (*Ann. de chim. et de phys.*, 3e série, t. XXXVII, p. 237), et de MOLESCHOTT (*Journ. für prakt. Chem.*, t. LV, p. 227).

(2) *Œuvres complètes*, traduites de l'anglais sur l'édition de Palmer, par Richelot, t. IV, p. 194 et suiv.

« Pendant l'incubation, ajoute J. Hunter, les parois du jabot du pigeon s'élargissent et s'épaississent graduellement, comme il arrive pour les mamelles des femelles de la classe des mammifères au terme de la gestation utérine. Hors du temps de l'incubation, le jabot est mince et membraneux ; mais lorsque les petits sont sur le point d'éclore, la totalité de l'organe, à l'exception de la portion qui repose sur la trachée, devient plus épaisse, et revêt une apparence glanduleuse qui rend sa surface interne très irrégulière. Ses vaisseaux deviennent aussi beaucoup plus nombreux.

» Si l'on tue un pigeon adulte au moment de l'éclosion des petits, on constate facilement l'aspect décrit plus haut, et l'on trouve dans la cavité du jabot des fragments de *caillé blanc*. A mesure que le pigeon avance en âge, la sécrétion de la matière caillée dans le jabot des parents diminue, et cesse vers le huitième ou neuvième jour. »

Après cette description si minutieusement exacte, J. Hunter dit : « Il se pourrait bien que cette substance eût réellement plus de rapport que nous ne nous en doutons avec du *lait caillé*. »

Dans ces derniers temps, l'analyse chimique de cette substance, faite par Leconte (1), est venue confirmer son analogie avec le lait. Ce chimiste a trouvé, pour 100 parties : caséine et sels, 23,23 ; graisse analogue au beurre, 10,47 ; eau, 66,30. Comme l'avait indiqué Hunter, on ne trouve pas de sucre.

V. — Parmi les causes nombreuses qui influencent la sécrétion du lait, de toutes la plus puissante est sans contredit l'accouchement. A cette époque, la glande mammaire se développe d'une manière notable : son tissu devient plus mou, granuleux et lobulé ; de nouveaux culs-de-sac glandulaires poussent, bourgeonnent à l'extrémité des conduits galactophores ; les vaisseaux sanguins deviennent beaucoup plus nombreux, les vésicules renferment des cellules à divers états de développement et formant des couches superposées. On admet que dans ces cellules se préparent et s'accumulent les matériaux du lait ; qu'à un certain moment, elles se dissolvent dans le liquide alcalin en laissant échapper leur contenu, et que le lait en résulte. — Bientôt après la parturition, les seins se gonflent, et au deuxième ou troisième jour survient la fièvre de lait ; puis le liquide coule dès lors avec abondance, et si tout se passe comme dans l'état normal, la sécrétion se régularise pour continuer aussi longtemps que l'allaitement.

Bien que l'accouchement, ou au moins la conception, soit la condition presque indispensable pour que la sécrétion du lait s'opère dans les mamelles de la femme ou des femelles des animaux, on a néanmoins cité des exemples de filles *vierges lactifères* et ayant pu servir de nourrices ; de chiennes n'ayant jamais subi les approches du mâle et ayant allaité des petits étrangers, et même d'hommes et de mâles de mammifères ayant également rempli le rôle de nourrices. Joly et Filhol (2), dans leur important mémoire sur le lait, ont rassemblé plusieurs faits de ce genre, et tous dignes d'intérêt.

(1) Cité par CL. BERNARD dans ses *Leçons sur les liquides de l'organisme*. Paris, 1858, t. II, p. 236.

(2) *Recherches sur le lait* (extrait des *Mém. de l'Acad. roy. de méd. de Belgique*, t. III, Bruxelles, 1856). — Pour les exemples dont il s'agit, consultez aussi l'article MAMELLES du *Dictionnaire des sciences médicales*.

Parmi les exemples assez nombreux de sécrétion laiteuse abondante observés chez des jeunes filles vierges, un des plus remarquables est celui qu'a rapporté Baudelocque (1) : une petite fille, de huit ans, ayant souvent appliqué à son sein la bouche d'un très jeune enfant allaité par sa mère, eut bientôt assez de lait pour le nourrir elle-même pendant un mois, la mère ayant été obligée d'interrompre l'allaitement à cause de gerçures survenues aux mamelons.

Des femmes ayant eu ou non des enfants, et devenues très âgées, ont pu également allaiter des enfants. « On a fait venir du lait à des femmes déjà âgées en les tetant, dit Aristote (2), et même on en a vu avoir assez de lait par ce moyen pour nourrir un enfant. » Joly et Filhol (3) relatent l'histoire d'une femme qui, à l'âge de soixante et quinze ans, put allaiter son petit-fils, sans le secours d'aucun lait étranger.

Les mêmes auteurs rapportent avec détail un exemple de sécrétion laiteuse observée par eux chez une jeune femme accouchée depuis dix mois, et qui n'avait jamais nourri.

Buffon (4) nous a transmis l'histoire d'une chienne vierge qui put servir de nourrice à des petits qu'on lui donna. Joly et Filhol (5) ont eu eux-mêmes l'occasion d'observer un cas semblable. — « Auprès du mont Œta, dit Aristote (6), lorsque les chèvres n'ont pas reçu le mâle, on leur frotte les mamelles avec de l'ortie, assez fortement pour exciter de la douleur, et on les trait. La première liqueur est sanguinolente, ensuite il vient une espèce de pus, et enfin du lait qui ne le cède point à celui des chèvres qui ont été couvertes. »

Les mâles, soit dans l'espèce humaine, soit parmi les animaux, n'ont généralement point de lait ; cependant il y a quelques exemples contraires. On connaît, en effet, plusieurs cas de sécrétion laiteuse et même de lactation, observés sur des hommes. Nous rappellerons notamment celui du laboureur Francisco Lozano, dont parle Alexandre de Humboldt (7) : cet homme, âgé de trente-deux ans, a nourri son fils de son propre lait. « Nous avons vu, dit de Humboldt, le procès-verbal dressé sur les lieux pour constater ce fait remarquable. Les témoins oculaires vivent encore ; ils nous ont assuré que, pendant l'allaitement, le fils ne reçut aucune autre nourriture que le lait du père. »

Au rapport d'Aristote (8), il existait à Lemnos un bouc qui fournissait du lait en assez grande abondance pour faire des fromages. « On lui fit couvrir une femelle, et il en vint un bouc qui eut également du lait. Mais ces singularités, ajoute Aristote, sont regardées comme des présages : l'oracle ayant été consulté sur le bouc de Lemnos, le dieu répondit qu'il annonçait un accroissement de fortune. » — Dans ces dernières années, Isidore Geoffroy Saint-Hilaire a publié une notice sur un bouc lactifère, venant aussi de Lemnos, et que l'on a pu voir assez longtemps au Jardin des plantes de Paris. Quand cet animal, d'ailleurs très ardent en amour, était en rut, la sécrétion lactée disparaissait, pour reparaître bientôt après cette période passée. Il féconda plusieurs femelles et allaita lui-même un de ses petits.

(1) *Dictionn. des sc. méd.*, t. XXX, p. 386.
(2) *Histoire des animaux*, t. I, lib. III, p. 163, trad. de Camus, Paris, 1783.
(3) *Mém. cit.*
(4) *Histoire naturelle du chien*, additions.
(5) *Mémoire cité*, p. 45.
(6) *Ouvr. cit.*, t. I, p. 163.
(7) *Voyage aux régions équinoxiales du nouveau continent*, t. III, p. 58.
(8) *Loc. cit.*

La sécrétion du lait peut s'observer aussi chez les enfants nouveau-nés des deux sexes. — Jean Schmid (1), professeur de physique à Dantzig, raconte qu'il a été témoin d'un fait fort remarquable et très rare: « Une petite fille, à l'âge de quinze jours, a rendu par les mamelons une liqueur blanche, absolument semblable à du lait, et cet écoulement a continué à se faire pendant l'espace de huit jours. » Schmid ajoute qu'avant lui, deux auteurs seulement avaient observé un pareil phénomène: Cerdon (*Lib. de subt.*), chez un enfant d'un mois, et Joachim Camerarius (*De illustr. Norimb. med. exempl.*), chez une petite fille de trois mois.

Dans les *Adversaria anatomica* de Morgagni on lit ce passage : « Et chose que nous refusions de croire quand elle nous était autrefois affirmée par les matrones, nous avons pu exprimer par nos propres mains des mamelles des nouveau-nés, même des enfants de notre sexe, des gouttes d'un lait séreux ou de sérum, etc. »

Dans ces dernières années, cette question a été le sujet de recherches intéressantes dues à Natalis Guillot (2) et à Gubler (3). Ces auteurs ont d'abord nettement établi qu'au lieu de pouvoir être considéré comme exceptionnel, le phénomène de la sécrétion du lait chez les enfants nouveau-nés devait être regardé comme presque constant. En effet, sur 435 enfants soumis à l'examen de Gubler, pendant les mois de mars, avril et mai 1854, cette sécrétion se rencontra à peu près chez tous.

Quelques dissidences existent entre ces deux observateurs, principalement sur la détermination de l'époque exacte à laquelle le lait apparaît dans la mamelle du jeune enfant. Selon Natalis Guillot, la sécrétion commencerait vers le huitième jour environ, consécutivement à la chute du cordon ombilical. Quant à Gubler, il conclut de ses observations, qu'au quatrième jour après la naissance (époque de la montée du lait chez la mère), la moitié à peu près des enfants de l'un et l'autre sexe offre déjà une sécrétion lactée très notable. Le nombre de ceux qui en sont pourvus s'accroîtrait graduellement les jours suivants, si bien que ceux qui en manqueraient encore le septième jour formeraient une très rare exception. — Sur soixante-cinq enfants, du neuvième au dixième jour un seul n'avait pas de lait. — A l'âge d'un mois, il est rare que la sécrétion lactée n'ait pas disparu complétement.

Les recherches de Natalis Guillot et les analyses de Quevenne ne laissent aucun doute sur la composition du liquide sécrété par la glande mammaire des nouveau-nés: d'après Quevenne, ce véritable lait présente une alcalinité constante, et beaucoup plus prononcée que chez les nourrices elles-mêmes.

En général, les règles sont suspendues pendant l'allaitement, et les nourrices menstruées sont réputées mauvaises. Cette opinion a été combattue dans ces derniers temps par Raciborski (4), qui affirme avoir constaté des caractères idem-

(1) *Ephémérides de l'Acad. des cur. de la nature*, déc. 1677, obs. 86, dans la *Collection académique*. Dijon, 1755, t. III, p. 348.

(2) *De la sécrétion du lait chez les enfants nouveau-nés, et des accidents qui peuvent l'accompagner* (*Arch. gén. de méd.*, nov. 1853).

(3) *Sur le retour de la sécrétion laiteuse après un sevrage prolongé* (*Union médicale*, janvier 1852), et *Mémoire sur la sécrétion et la composition du lait chez les enfants nouveau-nés des deux sexes* (extrait de la *Gazette médicale de Paris*, 1856).

(4) *Influence de la menstruation sur la sécrétion du lait chez les nourrices* (*Journal de pharmacie*, t. IV, p. 142).

es entre le lait des nourrices placées dans ces deux conditions opposées. Ce ide serait seulement un peu moins riche en crème, pendant la durée des strues que pendant leur intervalle. La présence des règles, au rapport de querel et Vernois (1), augmente le poids des parties solides, et c'est le caséum ont qui profite de cet excès.

'après Simon (2), une nourriture grossière, mais suffisante, donne lieu à la ction d'un lait identique avec celui que sécrète la femme nourrie des mets plus succulents. Une nourriture chétive fait diminuer la proportion des es butyreuses du lait; mais la quantité de caséine et celle du sucre, d'après nteur, ne diminuent pas plus dans ces conditions qu'elles n'augmentent sous uence d'un bon régime.

ses recherches sur ce sujet Doyère (3) conclut que : « la proportion de la ère grasse dans le lait de femme semble être la principale et la plus impor- richesse du lait, et celle qui influe le plus sur ses qualités nutritives. » A la d'une alimentation médiocre, les éléments du lait principalement atteints ent le beurre et la caséine, au dire de Vernois et A. Becquerel (4). Dumas, ingault et Payen (5), pensent que lorsqu'une nourrice est privée d'aliments , elle fournit encore du lait, mais alors aux dépens de sa propre substance; l la voit-on bientôt maigrir. De leurs observations, Joly et Filhol (6) con- nt que l'influence d'une alimentation abondante se réduit, chez la femme qui rit, à une production plus considérable de beurre.

mode d'influence des émotions morales sur toutes les sécrétions est encore problème difficile à résoudre, mais cette influence est incontestable. Pour ui a particulièrement trait à la sécrétion des mamelles, qui ne connaît l'in- nce de la vue et même du souvenir de son nourrisson, sur la sécrétion laiteuse a mère? — Il est fréquent de voir survenir une diminution, quelquefois une ression complète du lait, chez une mère dont l'enfant est malade et exposé à rir. Sous l'influence de ce genre d'émotion ou bien encore d'une vive frayeur, it peut non-seulement diminuer de quantité, mais devenir plus séreux, et racter des propriétés nuisibles qui, bien qu'échappant encore à nos analyses, 'en révèlent pas moins par les troubles qu'elles apportent dans la santé de ant.

'autres fois, au contraire, et sans cause appréciable, la quantité de lait peut considérablement augmentée, et alors on dit que la femme est atteinte de *ctorrhée*. Noël Guéneau de Mussy (7) a relaté l'observation d'une femme ayant cessé d'allaiter depuis quelque temps, perdait sept litres de lait par . Ce flux exagéré s'accompagna d'amaigrissement, de décoloration des tissus, aiblesse musculaire et d'épuisement général : la malade finit néanmoins par ir. Dans les *Éphémérides des curieux de la nature* (2e décade, ann. 2, p. 99), rouve l'observation d'une femme enceinte, qui, dans le cinquième mois de grossesse, fut prise d'un flux laiteux d'une livre et demie par jour. Sous

) *Du lait chez la femme dans l'état de santé et de maladie.* Paris, 1853, p 45.
) *Ouvr. cit.*
) *Annales de l'Institut agronomique*, juin 1852.
) *Loc. cit.*
) *Annales de chimie et de physique*, 1843, t. VIII, p. 78.
) *Mémoire cité*, p. 34.
) *Arch. gén. de méd*, juin 1856, 5e série, t. VII, p. 641.

l'influence d'un traitement approprié, cette quantité se réduisit à une demi-livre, et la femme accoucha à terme. Tissot (1) rapporte deux exemples de galactorrhée chez des femmes qui n'avaient pas nourri. Du reste, les cas de galactorrhée ne sont pas absolument rares dans l'espèce humaine (*).

VI. — Des substances introduites accidentellement dans le sang peuvent-elles passer dans le lait? — Des opinions très diverses ont été émises à ce sujet. La raison de ces dissidences paraît tenir à ce que l'on n'a pas toujours agi dans les mêmes conditions, à ce que les expériences n'ont pas porté identiquement sur les mêmes composés, comme cela est arrivé pour le mercure, par exemple. Pendant que Simon (2) se refuse absolument à admettre le passage du mercure dans le lait, Cullerier pense qu'il peut avoir lieu, mais en si petite quantité, qu'il serait illusoire de compter sur son action thérapeutique. Péligot a retrouvé l'iodure de potassium dans le lait d'une ânesse qui avait pris 30 grammes de ce sel en cinq jours; tandis que Simon n'a pu retrouver ce même composé dans le lait d'une femme à laquelle il en avait administré une assez forte dose.

Plus récemment, Dumesnil et Labourdette (3), ayant administré l'iode et divers iodures à des vaches, dans le but d'avoir du lait iodé, virent d'abord ces animaux périr dans le marasme. Toutefois, après de nombreux essais, ils arrivèrent à mieux régler la dose de l'iode sur la quantité de lait sécrété en vingt-quatre heures, et les animaux survécurent. Le lait ainsi obtenu contenait, au maximum, 257 milligrammes de composé iodique par litre.

Liebig (4) admet formellement le passage du chlorure de sodium et de l'iodure de potassium dans le lait des nourrices. Péligot a retrouvé le chlorure de sodium dans le lait d'une ânesse. Le bicarbonate de soude, administré pendant six jours, rendait alcalin le lait habituellement acide de ce même animal. Enfin, dans leurs expériences, Ossian Henry et A. Chevallier (5) ont pu constater, dans le lait de vache, la présence en quantité considérable du chlorure de sodium; puis, en proportion moindre, le carbonate de soude, le sulfate de soude, etc.

On a aussi reconnu le passage dans le lait de certaines matières colorantes et odorantes.

VII. — On sait peu de chose au sujet de l'influence du système nerveux sur la sécrétion et l'excrétion lactées. Chez des chèvres, auxquelles avaient été coupés les nerfs inguinaux et lombaires, il n'y eut pas de diminution sensible dans la proportion du lait sécrété. On n'observa pas non plus d'incontinence laiteuse à la suite de la section des nerfs de la mamelle (Eckhardt) : on aurait pu néanmoins s'attendre à la paralysie de cet appareil moteur, sorte de sphincter qui se trouve

(1) *Œuvres complètes*, t. VIII, p. 135, édit. de Hallé.

(*) Consultez à ce sujet : *Elementa physiologiæ* de HALLER, t. VII. lib. XXVIII, pars 2, p. 2[illegible]. — *Prælectiones academicæ* de BOERHAAVE, t. III, p. 303, § 380, édit. de Haller. — GREEN, *British and Foreing Review*, t. XX. — HANCK, *Wochenschrift*, etc., 1836.—AMELUNG, *Journal de Hufeland*, 1828. — NAUMANN, *Handbuch*, etc., 1838.
J'emprunte ces diverses indications à l'intéressant mémoire de N. GUÉNEAU DE MUSSY (*loc. cit.*).

(2) *Ouvr. cit.*, p. 78.

(3) *Mémoire sur le passage de l'iode, par assimilation digestive, dans le lait de quelques mammifères* (Séance de l'Académie de médecine, 6 mai 1856).

(4) *Traité de chimie organique*, t. III, p. 246.

(5) *Mémoire sur le lait, ses modifications, ses altérations* (*Journal de chim. méd., de pharm. et de toxicol.*, 1839).

dans le pis de beaucoup de femelles, et à l'aide duquel il leur est possible de suspendre parfois volontairement l'écoulement de leur lait.

DE LA SÉCRÉTION DU SPERME.

Le *sperme*, considéré au point de vue de sa sécrétion, de ses propriétés physiques et chimiques, du développement et des usages des spermatozoïdes, ne nous occupera que plus tard, quand nous aurons à étudier, dans le chapitre consacré à la *Génération*, les éléments de la reproduction dans les deux sexes. Cette étude sera d'ailleurs faite avec tous les développements que comporte un aussi intéressant sujet.

DU FOIE ET DE SES FONCTIONS.

I. — Le foie se présente chez tous les *vertébrés* (excepté le dernier ordre des poissons) (*), sous la forme d'un organe glandulaire isolé, distinct des parois du tube digestif, et ne communiquant le plus généralement avec la cavité intestinale que par un conduit excréteur unique. Sa structure toute spéciale se rapporte aussi dans les différentes classes à un même type, quelles que soient du reste ses variétés de forme et d'aspect extérieur.

Une enveloppe cellulo-fibreuse, plus ou moins résistante (capsule de Glisson), enferme et soutient la substance propre du foie ou *parenchyme hépatique*. Une veine afférente, la *veine porte*, conduit à cet organe tout le sang veineux du système intestinal, et quelquefois aussi des parties postérieures du tronc et des membres (oiseaux, reptiles, poissons). Circulant dans les réseaux capillaires dont les mailles embrassent en tous sens la substance hépatique, le sang entre en contact intime avec elle, et sort enfin au pôle opposé par les *veines sus-hépatiques* (veines efférentes), qui l'amènent à la veine cave et au cœur.

Tandis que les veines sus-hépatiques sont isolées à leur sortie du foie, aussi bien que dans toute l'étendue de leur trajet jusqu'à leurs dernières divisions, la veine porte et ses branches, jusqu'à leur terminaison dans le réseau capillaire, sont partout accompagnées par des organes satellites qui pénètrent dans le foie ou en sortent en même temps que ce tronc veineux afférent. Ces organes sont : l'artère hépatique, les nerfs du plexus hépatique, les vaisseaux lymphatiques et les conduits biliaires. La veine porte et ses satellites sont soutenus jusqu'à leurs divisions terminales par les cloisons de plus en plus délicates de la capsule de Glisson, qui les isolent du parenchyme hépatique. Au contraire, celui-ci est partout en contact intime et immédiat avec les canaux vasculaires qui constituent le système des veines sus-hépatiques.

Chez certains animaux (porcs, ours, etc.), les précédentes cloisons cellulo-fibreuses divisent la masse du foie, d'une manière très nette et très régulière, en petits *îlots* ou *lobules* polyédriques de 1 à 2 millimètres de diamètre, en forme de pyramides ou de cônes.

Kiernan, à qui l'on doit les premières notions exactes sur la structure du foie (1), et J. Müller (2) après lui, ont mis en lumière ce fait important, à savoir :

(*) Les branchiostomes.

(1) *Anatomy and Physiology of the Liver* (*Philos. Trans.*, 1833, p. 711.)
(2) *De glandul. secern. struct.*, — et *Manuel de physiologie*, trad. Jourdan, t. I, p. 349.

que les bases de tous ces petits cônes sont intimement appliquées sur les parois des veines sus-hépatiques. Les lobules semblent appendus à ces canaux vasculaires de la même façon que les lobules des autres glandes à leurs canaux excréteurs. Mais ici, c'est une veinule (*veine intra-lobulaire*) qui occupe l'axe du lobule, et l'attache, par un court pédicule, à la veine hépatique dans laquelle elle s'abouche (*veine sublobulaire*).

A la périphérie du lobule, dans l'épaisseur des cloisons qui le circonscrivent, se répandent les divisions de la veine porte et de ses satellites; les principales correspondent aux angles de jonction des lobules, et sont communes à plusieurs d'entre eux, de telle façon que, par exemple, les veines qui se répandent à la surface de chaque lobule (*veines interlobulaires*) résultent des anastomoses de plusieurs (quatre ou cinq) branches de la veine porte, et correspondent au tronc unique de la veine intra-lobulaire avec lequel elles communiquent par le *réseau capillaire* du lobule.

Ce réseau capillaire, qui reçoit le sang de la veine porte, et aussi, à l'aide de quelques ramuscules assez grêles, celui de l'artère hépatique, constitue, avec les éléments du parenchyme hépatique, la substance propre des lobules. C'est aux recherches de J.-H. Weber (1) et de Krükenberg (2) qu'on doit la connaissance de la disposition de ces capillaires et de leurs rapports avec les autres éléments du lobule. Les vaisseaux ont en moyenne $0^{mm},01$ de diamètre, et la largeur des mailles est à peu près double du diamètre des vaisseaux ($0^{mm},02$).

Les aréoles, circonscrites par ces trabécules vasculaires, sont entièrement remplies par le parenchyme hépatique. Celui-ci est constitué essentiellement par les cellules hépatiques; grandes cellules de $0^{mm},015$ à $0^{mm},02$ en moyenne, dont deux ou trois au plus suffisent à combler l'intervalle que laissent entre eux les capillaires du réseau. Ces cellules sont irrégulièrement polyédriques ou arrondies; leur membrane d'enveloppe, mince et délicate, enferme un contenu finement granuleux, au milieu duquel on rencontre, en proportion variable, des gouttelettes graisseuses et des granulations colorées en jaune. On aperçoit dans l'intérieur des cellules un gros noyau arrondi, vésiculeux, de $0^{mm},08$ de diamètre, pourvu d'un nucléole. Il n'est pas rare de rencontrer des cellules munies de deux et même quelquefois de trois noyaux.

Ces cellules, dont Dutrochet (3), Purkinje (4) et Henle (5) ont les premiers signalé l'existence, présentent une disposition remarquable. Elles sont rangées en séries qui rayonnent, quelquefois très régulièrement, du centre vers la périphérie du lobule; les cellules d'une même série sont assez intimement unies les unes aux autres, et constituent par leur groupement des espèces de trabécules pleines. Celles-ci s'anastomosent entre elles et forment un réseau solide. La masse du lobule résulte de la pénétration réciproque de ce réseau et du réseau vasculaire, qui s'enchevêtrent exactement sans laisser aucun vide, aucun intervalle entre leurs éléments.

Les faits qui précèdent sont admis aujourd'hui par tous les observateurs compétents. Il n'y a guère de contestations que relativement à la délimitation des lobules. Ceux-ci, très nettement distincts dans les espèces que nous avons prises

(1) *Ueber den feineren Bau der menschlichen Leber* (MÜLLER'S *Arch.*, 1843).
(2) *Idem* (MÜLLER'S *Arch.*, 1843.)
(3) *Mémoire pour servir à l'histoire naturelle des végétaux et des animaux*, t. II, p. 469.
(4) *Bericht über die Versamml. der Naturf.*, in *Prag im Jahre* 1837.
(5) MÜLLER'S *Archiv*, 1838.

our type de notre description (*porc*, *ours*, *lapin*), sont, presque partout ailleurs, onfondus en grande partie par de fréquentes anastomoses des trabécules hépatiques et des capillaires d'un lobule à l'autre. C'est là un accident tout à fait secondaire résultant du plus ou moins de développement de l'enveloppe fibreuse, et ui ne modifie que l'aspect extérieur sans rien changer à la constitution intime e l'organe.

Mais il est un point, auquel nous n'avons pas touché, qui a suscité et qui suse encore de nombreuses controverses: c'est celui qui concerne les rapports des nduits biliaires avec les lobules et leurs connexions avec le parenchyme des ules hépatiques.

Les conduits biliaires, partout satellites des branches de la veine porte, arrivent ec elles dans les espaces interlobulaires; là ils se partagent comme elles entre sieurs lobules voisins, et aussi de manière qu'à un même lobule correspondent divisions de plusieurs conduits biliaires. Les injections pénétrantes remplisit assez facilement ces canaux interlobulaires, et permettent de suivre leurs isions et leurs anastomoses. On distingue même encore, à l'aide de ce moyen, de rts ramuscules de $0^{mm},02$ de diamètre, qui s'en détachent et se dirigent vers surface du lobule; mais là, la lumière de ces canalicules disparaît complétement, leur mode de connexion avec les trabécules cellulaires du lobule est impossible saisir nettement. Les observateurs se sont généralement laissé guider, dans leur terprétation des faits, par des idées préconçues, par une analogie de structure l'il leur fallait trouver, quand même, entre le foie et les autres glandes. Geddings, rasse, J. Müller, crurent voir dans la substance propre des lobules les terminaisons en cæcum des dernières ramifications des conduits biliaires. Kiernan, Weber, rökenberg, se fondant surtout sur des résultats d'injections, n'y virent au contraire que des canalicules biliaires capillaires, anastomosés en réseaux et logés ns les mailles vasculaires des lobules.

Mais l'observation directe montrant qu'il n'existe dans l'épaisseur des lobules, u milieu de la masse solide des cellules hépatiques, d'autres canaux perméables ne les capillaires sanguins, on chercha à concilier ce fait avec l'existence d'un tème biliaire sécréteur, en admettant que la lumière des conduits biliaires disparaissait à leur entrée dans les lobules, et que les cellules hépatiques remplissaient complétement les tubes anastomosés. La disposition en séries des cellules hépatiques et les anastomoses des trabécules cellulaires semblaient en harmonie vec cette idée, et Retzius (1) l'appuyait surtout sur l'existence d'une mince membrane d'enveloppe, analogue à la tunique propre des glandes, autour des séries cellulaires.

Lionel Beale (2), dans un important travail sur la structure du foie, s'est efforcé ans ces dernières années d'étayer l'opinion précédente sur de nouveaux faits; et, par des procédés d'injection très délicats, il croit être parvenu à mettre hors de loute la continuité des conduits biliaires interlobulaires avec le réseau des canalicules intra-lobulaires (*trabécules cellulaires*), ainsi que l'existence de la membrane propre qui entoure et maintient les séries de cellules.

Cependant d'autres observateurs, notamment Handfield Jones (3) et Köl-

(1) MÜLLER'S *Archiv*, 1851, p. 567.
(2) *The Anatomy of the Liver*. In-8, London, 1857.
(3) *Philos. Trans.*, 1846 et 1849.

liker (1), n'admettant pas l'existence de cette membrane, soutiennent que les cellules des trabécules sont en contact immédiat avec la paroi des capillaires; que les conduits biliaires s'arrêtent à la surface du lobule, et s'y terminent par une extrémité fermée en cæcum (H. Jones), ou peut-être ouverte et appliquée directement sur les réseaux de cellules hépatiques (Kölliker).

Les résultats des recherches de Reichert (2) et de Leydig (3) nous semblent se rapprocher le plus de la vérité, et concilier les faits positifs sur lesquels s'appuient les opinions précédentes. Ces auteurs reconnaissent que les conduits biliaires munis d'une cavité centrale s'arrêtent à la périphérie des lobules, et que les séries de cellules ne sont pas enfermées dans un système de tubes membraneux anastomosés en réseau; mais ils reconnaissent aussi l'existence de cloisons membraneuses séparant et maintenant les trabécules cellulaires. Seulement, pour eux, ces lames membraneuses sont des dépendances des cloisons interlobulaires, circonscrivant des aréoles caverneuses. Les vaisseaux capillaires correspondent aux parois de ces aréoles, dont les cellules hépatiques remplissent la cavité. La tunique propre des conduits biliaires se continue avec la charpente caverneuse du lobule.

Quoi qu'il en soit, il ressort évidemment de tous ces faits que le système des conduits biliaires, caractérisés par l'existence d'une cavité perméable et par une structure propre, a pour limite la périphérie des lobules hépatiques.

Ces conduits forment réellement un réseau anastomotique dans les espaces interlobulaires; mais ils se réunissent ensuite en rameaux de plus en plus volumineux, toujours satellites de la veine porte, et n'émettent plus que de rares anastomoses, si ce n'est pourtant dans la scissure transverse, où il en existe assez souvent entre les branches droite et gauche du conduit hépatique.

Les conduits biliaires consistent en une tunique fibreuse d'enveloppe, dans l'épaisseur de laquelle on observe quelques rares faisceaux musculaires lisses, seulement au niveau des conduits *hépatique* et *cystique*. Cette tunique fibreuse est revêtue d'un épithélium à cellules cylindriques de $0^{mm},02$ d'épaisseur, qui se transforme en épithélium pavimenteux dans les fins conduits qui ont moins de $0^{mm},1$ de diamètre. Ces cellules pavimenteuses qui tapissent les conduits interlobulaires n'ont pas plus de $0^{mm},01$ de diamètre, et se distinguent facilement des cellules du parenchyme hépatique.

La muqueuse de la vésicule biliaire est revêtue d'un épithélium cylindrique dont les cellules, colorées par la bile, manquent généralement de noyau. Indépendamment de sa tunique fibreuse, ce réservoir possède aussi une mince couche musculeuse, dont les faisceaux anastomosés en réseaux à larges mailles ne présentent pas de noyaux distincts.

Dans l'épaisseur des parois des canaux biliaires, depuis le canal cholédoque jusqu'aux divisions du canal hépatique, qui n'ont pas plus de $0^{mm},7$ de diamètre, on rencontre de petites glandes en grappe, dont les orifices très rapprochés donnent à la muqueuse de ces conduits une apparence réticulée.

Ces glandes, dont l'existence avait été signalée déjà par Kiernan (4), ont été depuis décrites et figurées avec soin par C. Wedl (5) et par L. Beale (6). C'est à tort

(1) *Éléments d'histologie humaine*, p. 475.
(2) MÜLLER'S *Archiv*, 1854.
(3) *Lehrbuch der Histologie*, 1859.
(4) *Philos. Trans.*, 1833.
(5) *Ueber die traubenförmigen Gallengangdrüsen. Sitz. der. Wien. Acad.*, 1850.
(6) *Lectures on Minute Anat. of the Liver, at King's College*, 1855 (*Medical Times*, 1856).

qu'on a récemment présenté leur existence comme une particularité caractéristique des voies biliaires, et sans analogue dans aucun autre organe glanduleux de l'économie. On sait en effet que des glandes en grappe, tout à fait analogues à celles des voies biliaires, s'ouvrent à la surface de la muqueuse du conduit pancréatique et de ses principales divisions.

On a attribué à ces glandes la fonction de sécréter le mucus biliaire. Beale ne veut y voir que des diverticules où la bile peut pénétrer et séjourner comme dans la vésicule biliaire.

L'artère hépatique les revêt à l'intérieur d'un riche réseau capillaire, dont les vaisseaux efférents vont se jeter dans les veines circumlobulaires; les cellules des *acini* se rapprochent, pour la forme, de celles des glandes muqueuses, et ne peuvent, en aucune façon, être confondues avec les cellules hépatiques (*).

Au système des conduits biliaires se rattachent encore les *vasa aberrantia*, indiqués pour la première fois par Ferrein, puis décrits avec plus d'exactitude par Kiernan et J. H. Weber. Theile les considère comme des glandes des canaux biliaires. Ce sont en réalité des conduits biliaires anastomosés qu'on observe isolés de toute substance hépatique, dans les ligaments triangulaires du foie, dans la fossette de la veine ombilicale, dans la scissure transverse où ils font communiquer la branche droite et la branche gauche du conduit hépatique. Les régions mêmes où l'on rencontre ces *vasa aberrantia* indiquent suffisamment que leur présence est due à un arrêt de développement ou à une atrophie du parenchyme hépatique des lobules, qui a épargné le système des conduits biliaires. Beale prétend avoir observé, sur le foie du cheval, tous les degrés de cette atrophie. Il est certain que, chez le fœtus, les *vasa aberrantia* sont plus rares que chez l'adulte.

Les voies biliaires présentent quelques dispositions spéciales dans les différentes classes de vertébrés : chez tous, elles versent la bile dans le duodénum, généralement assez près du pylore, excepté chez les oiseaux où les conduits biliaires s'ouvrent à l'extrémité de l'anse duodénale.

Il n'existe pas toujours un réservoir particulier pour la bile. L'absence de vésicule est assez commune chez les mammifères : elle manque chez le marsouin et le dauphin ; chez tous les pachydermes, à l'exception du *porc* ; dans plusieurs genres de ruminants (*Cervus*, *Camelus*) : chez quelques rongeurs ; chez l'aï, parmi les tardigrades. Au contraire, elle existe chez tous les carnassiers, et Cuvier a cru pouvoir conclure de là que la présence de ce réservoir était surtout liée à des interruptions prolongées de l'acte digestif. Mais si le cheval, qui mange tout le jour, est privé de vésicule biliaire, le bœuf, qui rumine même la nuit, n'est pas dépourvu de ce réservoir.

Quelques oiseaux n'ont pas de vésicule. — Chez les reptiles, on ne compte guère que deux ou trois espèces qui en soient dépourvues. — Elle ne fait défaut, dans la classe si nombreuse des poissons, que chez les *lamproies*, le *Scomber leuciscus*, le *Labrus turdus*.

Tantôt la vésicule n'est qu'un diverticulum annexé au conduit excréteur principal ; tantôt, au contraire, c'est un véritable réservoir qui reçoit des conduits spéciaux (*hépato-cystiques*), et qui même, chez les oiseaux, communique avec l'in-

(*) Wedl a observé les glandes en grappe des conduits biliaires, non-seulement chez l'homme, mais aussi chez le cheval, le chien, le porc, le mouton. Ces glandes existent également chez les marsupiaux. On ne les a pas rencontrées chez les oiseaux, mais on a constaté leur présence dans les conduits biliaires des poissons cartilagineux (raies et chimères).

testin par un canal cystique distinct et isolé, jusqu'à son abouchement, du canal hépatique direct.

Nous avons déjà dit que la veine porte hépatique reçoit, chez les poissons, les reptiles et les oiseaux, non-seulement les veines de l'appareil digestif, mais aussi des veines émanées des parois postérieures du tronc, des membres postérieurs et même des organes génitaux. Les communications directes que l'on a signalées entre la *veine porte* et la *veine cave*, et auxquelles on a voulu assigner un rôle physiologique spécial, ne peuvent être démontrées que très exceptionnellement chez les grands animaux. Elles ne doivent être considérées, lorsqu'elles existent, que comme résultant d'anastomoses des *vasa vasorum* de la veine cave avec des branches de la veine porte.

Les valvules manquent dans le système des canaux de la veine porte et dans celui des veines sus-hépatiques. Dans les parois de ces dernières veines, on trouve des faisceaux musculaires longitudinaux très développés, surtout au niveau du confluent des veines sus-hépatiques et de leur abouchement dans la veine cave.

Les lymphatiques du foie forment un réseau superficiel sous-péritonéal qui communique avec le système des vaisseaux lymphatiques profonds, satellites de la veine porte ; ce dernier a pour origine les réseaux lymphatiques interlobulaires. Les vaisseaux lymphatiques superficiels de la surface convexe du foie, et une partie des profonds qui accompagnent les veines sus-hépatiques, traversent le diaphragme et vont se jeter dans les ganglions thoraciques ; les lymphatiques superficiels de la face concave, et les profonds, satellites de la veine porte, se jettent dans les ganglions sus-aortiques au-dessus du pancréas.

Les nerfs du foie proviennent du plexus hépatique du grand sympathique, auquel viennent se joindre quelques rameaux émanés du pneumogastrique gauche, et aussi du pneumogastrique droit chez quelques animaux.

Blandin et quelques autres anatomistes ont avancé que les nerfs phréniques fournissaient des rameaux au foie. Ch. Rouget (1) a montré que ces filets émanés de la branche postérieure du nerf phrénique droit ne font en réalité que traverser le parenchyme hépatique pour se terminer dans les parois musculaires des veines cave et sus-hépatiques.

Bien que, chez tous les vertébrés, la structure du foie soit, comme nous l'avons dit, conforme à un même type, cet organe ne présente pourtant pas toujours la même apparence. Dans la même espèce, on observe tantôt une coloration rouge-brun uniforme, tantôt une mosaïque assez régulière de taches jaunes et rouges, qui avait fait admettre à d'anciens anatomistes deux substances différentes, l'une corticale, l'autre médullaire. Ces variétés d'aspect ne dépendent que de l'état de réplétion ou de vacuité du système vasculaire sanguin des lobules. La coloration blanc jaunâtre du parenchyme hépatique, masquée lorsque tous les vaisseaux sont remplis de sang, devient apparente dans les parties exsangues.

Nous avons déjà fait observer que, selon le plus ou moins de développement des cloisons interlobulaires de l'enveloppe cellulo-fibreuse, les lobules étaient plus ou moins distincts ; que dans beaucoup d'espèces animales, et aussi chez l'homme en particulier, ils étaient en grande partie confondus. Les capillaires et les trabécules

(1) *Le diaphragme chez les mammifères, les oiseaux et les reptiles* (*Mém. de la Soc. de biologie*, 1861).

s'anastomosent en beaucoup de points d'un lobule à l'autre ; aussi a-t-on nié, dans ces espèces, l'existence des cloisons celluleuses des lobules. Mais, ces lames homogènes anhistes, que leur délicatesse et leur transparence rendent difficiles à observer à l'état normal, deviennent très apparentes quand elles s'hypertrophient, comme dans la cirrhose.

Dans la classe des oiseaux, le canevas celluleux du foie est généralement très délicat et très peu apparent. Il est, au contraire, très développé chez les batraciens et les poissons ; et c'est chez eux qu'on observe le plus nettement la disposition des aréoles caverneuses ou loges des trabécules cellulaires, dont les parois sont formées par ces membranes de tissu conjonctif homogène à noyaux, que certains observateurs (notamment Retzius et L. Beale) ont considérées comme la tunique propre des canalicules biliaires sécréteurs.

Les cellules hépatiques elles-mêmes n'ont pas toujours la même apparence : leur aspect varie avec leur contenu. Nous avons dit que celui-ci était constitué, chez les mammifères, par de fines granulations moléculaires, par quelques granulations jaunâtres plus volumineuses, et assez souvent par des globules huileux. Ces derniers, très nombreux et volumineux dans quelques cas, peuvent manquer complétement dans d'autres. Ce dernier cas se montre le plus fréquemment chez les oiseaux, bien que certaines conditions spéciales d'alimentation puissent amener, chez eux, l'envahissement et la distension des cellules hépatiques par des globules graisseux qui les remplissent entièrement.

Chez les amphibiens et les poissons surtout, les cellules hépatiques sont le plus souvent, à l'état normal, tellement remplies de globules huileux, que le noyau lui-même est invisible, et qu'on croirait n'avoir sous les yeux que des vésicules adipeuses. C'est en particulier le cas des *plagiostomes* et des *chimères*. On l'observe également chez des mammifères à l'état embryonnaire, ou peu de temps après la naissance. Il existe aussi, dans le foie des poissons et des batraciens, des amas de pigment disséminés entre les cellules hépatiques.

Quelques observateurs, guidés par des idées préconçues, ont cru, dans ces derniers temps, constater dans le foie normal la présence de *granulations amylacées*. Pour ce qui est des grains d'amidon que Carter (1) a trouvés dans le foie, comme dans la plupart des organes, Ch. Rouget (2) a démontré qu'ils sont étrangers aux tissus animaux, et que leur présence est tout à fait accidentelle. Schiff (3) a attaché une grande importance à la présence dans les cellules hépatiques de granulations sphériques se colorant en brun par l'iode, qui se rencontrent chez tous les vertébrés dont le foie renferme une substance glycogène. Ces granulations, plus ou moins abondantes, suivant que le foie fournit plus ou moins de sucre, constitueraient la substance glycogène elle-même, renfermée sous cette forme dans les cellules hépatiques. D'autres fois, d'après le même physiologiste, on verrait dans les cellules hépatiques des espaces clairs, transparents, légèrement jaunâtres, remplis par une matière sirupeuse, qui ne serait autre chose que de la *dextrine liquide*, état intermédiaire par lequel passeraient les matières glycogènes solides avant de se transformer en sucre. Mais ces observations de Schiff

(1) Carter, *On Starch as a Constituant of Animal Organisation* (*Edinburgh Medic. Journ.*, 1859.)

(2) Ch. Rouget, *Des substances amyloïdes, etc.* (*Journal de physiologie de l'homme et des animaux*, avril 1859, p. 87).

(3) Schiff, *Untersuchungen über Zuckerbildung in der Leber*, etc., 1859.

n'ont pas été généralement confirmées. Il résulte des recherches de Ch. Rouget (1) que la matière glycogène (*zoamyline*) existe à l'état de plasma homogène demi-liquide dans les cellules épithéliales ou dans les faisceaux musculaires des fœtus de mammifères ; qu'elle ne prend l'aspect granuleux que sous l'influence des réactifs ou de la chaleur, et que, dans les cellules hépatiques des vertébrés, cette substance n'existe probablement pas à l'état libre ; car il n'a jamais vu le contenu de ces cellules montrer la coloration caractéristique des substances amyloïdes au contact de l'iode. Une substance azotée, probablement unie à la zoamyline, masque ses caractères distinctifs. Ces deux substances, d'après le même observateur, seraient encore là à l'état de plasma : en effet, lorsqu'on les sépare, par l'action de l'eau bouillante, la coloration rose violacée, par la teinture d'iode, se montre, non pas dans des granulations solides, mais dans le liquide qui transsude des cellules hépatiques.

II. — Dans les classes les plus élevées des *invertébrés*, chez la plupart des mollusques et beaucoup d'articulés (crustacés et arachnides), le foie constitue, comme dans les vertébrés, un organe distinct, isolé des parois du tube digestif et suffisamment caractérisé par une sécrétion d'un brun jaunâtre, possédant les caractères essentiels de la bile, et versée dans la cavité intestinale à des hauteurs variables par des conduits le plus souvent multiples. Chez les céphalopodes néanmoins, les conduits excréteurs du foie se réunissent encore en un canal cholédoque commun qui s'ouvre, après un court trajet, sur les côtés du cæcum. Dans les mollusques gastéropodes, les conduits biliaires qui naissent des lobes hépatiques se réunissent ordinairement en deux, trois ou plusieurs qui aboutissent près de l'orifice pylorique (*Limax*, *Helix*, etc.), dans l'intestin (*Haliotis*, *Doris*, *Limneus*), dans le troisième estomac (*aplysies*), dans le premier estomac, et exceptionnellement dans l'œsophage (*Onchidium*).

Le foie entoure de très près le canal digestif des acéphales lamellibranches, et communique par un petit nombre de canaux biliaires avec l'estomac ou la partie antérieure de l'intestin.

Dans les aranéides, la bile est versée dans le tube digestif, à peu près vers la moitié de sa longueur, par quatre courts conduits hépatiques. Chez les scorpionides, elle arrive dans l'intestin par cinq paires de conduits excréteurs, séparés par d'assez grands intervalles.

Dans les ordres supérieurs des crustacés, le foie, isolé, est pourvu de conduits excréteurs particuliers qui s'ouvrent sur divers points du canal digestif, tantôt dans l'estomac (*amphipodes*, *isopodes*), tantôt dans toute la longueur du tube digestif (*squilles*, *bopyrides*). Chez les décapodes, les deux masses hépatiques versent leur produit, chacune par un court canal, immédiatement en arrière du pylore.

Le système circulatoire, et en partie le système veineux, étant à l'état rudimentaire dans la plupart des invertébrés, on ne retrouve plus, chez eux, l'appareil circulatoire spécial qui caractérise le foie des vertébrés. Cet organe, ainsi que le tube digestif tout entier, baigne directement dans une grande cavité (*cavité du corps*), espèce de lacune veineuse dans laquelle les produits de la digestion pénètrent par transsudation à travers les parois du canal alimentaire. Chez les mollusques supérieurs seulement, une artère spéciale se distribue au foie.

(1) *Loc. cit.*, p. 318.

n'avons donc à considérer ici, dans la structure de cet organe, que la
e celluleuse, les cellules sécrétoires, leur groupement et leurs rapports
conduits excréteurs.
la charpente celluleuse du foie (capsule de Glisson) réunit sous une enve-
nmune tous les éléments de cet organe divisé plus ou moins complétement
ou lobules distincts, comme dans les vertébrés : c'est ce que l'on observe
grand nombre de mollusques ; tantôt, au contraire, ainsi que cela a lieu
articulés, elle entoure isolément chacun des organes élémentaires dont
le constitue le foie. Dans ce dernier cas, on trouve assez souvent, sous
pe celluleuse, des fibres musculaires autour des petits organes hépatiques.
rétend même avoir rencontré des faisceaux contractiles sous l'enveloppe
e et dans la charpente celluleuse du foie des *paludines* (1).
enchyme hépatique paraît formé, chez beaucoup de mollusques gastéro-
imax, *Paludina vivipara*, *Thetys*, *Doris*, *Tritonia*, etc.), d'aréoles caver-
nastomosées. La même disposition paraît exister aussi chez les squilles
s crustacés. Mais la forme la plus ordinaire que présente le parenchyme
e des articulés et même des mollusques (*lamellibranches*, *hétéropodes*
oup de *gastéropodes*), c'est celle de plusieurs groupes de culs-de-sac,
ou ramifiés, de follicules courts ou allongés en tube, s'abouchant
conduits communs qui les font communiquer avec le tube digestif. Les
hépatiques, dont les couches, le plus souvent multiples, tapissent les
e ces follicules, présentent des caractères assez tranchés. Leur paroi
e et délicate, et le noyau le plus ordinairement masqué par le contenu de
; ce contenu est généralement formé par des granulations colorées en
en jaune, et par des gouttelettes huileuses souvent aussi colorées. Les
huileux sont si abondants dans quelques cas, chez les crustacés par
, que les cellules hépatiques présentent une grande analogie d'aspect avec
les vitellines.
terait, d'après J. F. Meckel, dans le foie des mollusques et des crustacés,
èces de cellules destinées, les unes à la sécrétion biliaire, les autres à la
de la graisse. Leydig conteste le fait, et s'efforce d'établir que partout les
ellules produisent à la fois la graisse et la bile par une métamorphose de
enu. Mais Ch. Rouget a confirmé l'existence de deux espèces de cellules
s dans les cæcums hépatiques des crustacés décapodes, et dans le foie de
t des gastéropodes. — D'après cet observateur, les cellules de l'extrémité
e et des couches internes des follicules hépatiques des crustacés sont
transparentes, et ne renferment que des granulations ou des globules in-
et probablement de nature protéique. Les cellules des couches exté-
deux ou trois fois plus volumineuses que les précédentes, sont colorées
rougeâtre par d'innombrables globules huileux, qui remplissent compléta
cavité de la cellule. Le foie de la plupart des espèces de mollusques
odes est constellé de points colorés en brun foncé et disséminés à dis-
ses régulière. Ces points colorés ne sont autre chose que de grandes
remplies d'un liquide d'apparence huileuse, transparent, légèrement
, qui entoure un gros globule ou un amas de granulations colorées en
cé. Les autres cellules hépatiques ont un aspect tout différent, et renfer-

(1) Leydig, *Lehrbuch der Histologie*, p. 362.

ment, en proportion variable, des granulations protéiques et des granulations moléculaires jaunâtres.

Dans les espèces inférieures de mollusques et de crustacés, le foie ne forme plus un organe distinct du tube digestif, mais seulement une couche de follicules ou même simplement de cellules qui tapissent les parois de ce conduit, le plus souvent au niveau de la région stomacale. Chez les *éolides*, les *éolidines*, les *actéons*, les cellules hépatiques tapissent les parois des culs-de-sac où viennent se terminer les dernières divisions de canaux, que les uns ont considérés comme un intestin ramifié, les autres comme des conduits biliaires. Chez les tuniciers (*ascidies* et *Salpa*), le foie s'étend comme une simple couche glandulaire colorée en jaune sur l'estomac et l'intestin.

Quelques espèces de crustacés inférieurs (*lernéodées*, *ergasilines*, *Artemia salina*) et les myriapodes offrent un canal alimentaire qui est parsemé de semblables follicules hépatiques, colorés en brun ou en jaune, et s'ouvrant probablement dans sa cavité chacun par un orifice distinct (*).

Enfin, une disposition plus simple encore s'observe chez les mollusques bryozoaires, dans les dernières espèces de crustacés, quelques larves d'insectes, les rotifères, les tardigrades et les annélides. Les cellules hépatiques ne sont plus groupées autour de follicules spéciaux, elles forment une simple couche qui revêt les parois du canal alimentaire. Il est remarquable que dans certains cas, sinon toujours, les cellules hépatiques ne sont pas, comme on l'a cru, étalées à la surface libre de la muqueuse, mais séparées de la cavité par l'épithélium intestinal qui passe au-dessus d'elles. Leydig a observé et figuré cette disposition chez les naïs et les lombrics. Ch. Rouget l'a constatée également chez les bryozoaires: il a remarqué de plus que, dans plusieurs espèces de naïs, les cellules hépatiques enveloppent le vaisseau dorsal; que, chez le *Naïs sanguinea*, elles forment une gaine aux digitations vasculaires en culs-de-sac qui flottent dans la cavité du corps, et n'ont aucun rapport immédiat avec la cavité digestive.

Dans les espèces que nous venons de ranger dans la précédente catégorie, et qui ne possèdent plus, à proprement parler, d'organe hépatique, mais seulement des éléments, des cellules hépatiques, ces cellules sont encore généralement caractérisées par leur contenu de granulations pigmentaires jaunes ou brunes, et de gouttelettes graisseuses. Des cellules analogues se rencontrent également sur les parois des diverticules ramifiés du tube digestif des planaires, sur les parois des culs-de-sac qui garnissent les prolongements de la cavité digestive dans les rayons des astéroïdes. On trouve aussi des cellules renfermant des granulations pigmentaires sur les franges de la cavité stomacale des actinies, dans la paroi de l'estomac des polypes hydraires. Ces cellules sont généralement considérées comme chargées du rôle d'organes hépatiques. Mais, jusqu'à présent, une grande incertitude s'attache à la détermination de ces organes chez beaucoup d'animaux inférieurs. Il n'est souvent pas possible de constater une sécrétion biliaire, ou bien si elle existe, de la rattacher à tel ou tel organe, à tel ou tel tissu.

On ne connaît encore aucun caractère assez fixe et assez constant pour distinguer partout avec certitude les cellules hépatiques. La présence de granules

(*) C'est à cette forme élémentaire que paraît se rapporter le foie des derniers vertébrés (les *branchiostomes*). Les follicules tapissant les parois de l'intestin et d'un court cæcum qui s'en détache en arrière du pylore, constituent les organes hépatiques, et versent la bile à la surface de la muqueuse colorée en vert dans la portion de l'intestin qui leur correspond.

gmentaires et de globules huileux, bien qu'assez générale, n'est ni con-
nte, ni exclusivement propre aux cellules hépatiques ; elle se rencontre
équemment dans les éléments du tissu cellulaire, et il paraîtrait en effet que
: que l'on avait pris jusqu'à présent pour un foie ramifié, chez les *hirudinées*,
est autre chose qu'un réseau de cellules plasmatiques renfermant des granula-
ns colorées et des globules de graisse (1). D'autre part, dans aucune des espèces
la classe si nombreuse des insectes (hexapodes), on ne sait encore à quel organe
pporter les fonctions hépatiques. Les uns les attribuent aux parois de l'es-
mac ou des appendices cæcaux, dont la tunique interne se composerait de cellules
patiques serrées (2), tandis que d'autres considèrent comme des canaux biliaires
longs tubes simples ou ramifiés, le plus souvent terminés en cæcum, et s'ou-
nt dans le canal digestif, connus sous le nom de *vaisseaux de Malpighi* (3). Cette
mière opinion a contre elle la présence fréquente dans ces canaux de concré-
ns formées d'acide urique, et l'existence des vaisseaux de Malpighi chez les
chnides, qui ont un foie très développé et complétement distinct de ces
ganes regardés généralement aujourd'hui comme des organes urinaires. Leydig,
vérité, fait observer que les insectes ont généralement deux espèces de vaisseaux
Malpighi, les uns à cellules incolores, les autres à cellules renfermant des gra-
lations colorées ; et il suppose que la dernière espèce, dans laquelle on ne ren-
ntre pas de concrétions d'acide urique, jouerait le rôle d'organe hépatique.

Quoi qu'il en soit, chez les insectes et dans plusieurs espèces de crustacés inférieurs,
n que la sécrétion biliaire ait certainement lieu, on ne trouve le plus souvent,
dans les cellules des parois du tube digestif, ni dans celles des tubes en cul-
-sac qui s'y abouchent, le contenu de granulations pigmentaires et de globules
ileux, considéré comme un caractère propre aux cellules hépatiques. Ce carac-
re, il est vrai, manque fréquemment dans les cellules du foie des vertébrés,
is l'existence de la substance amyloïde du foie n'ayant pas non plus été jus-
l'à présent constatée dans les cellules prétendues *hépatiques* des insectes, des
stacés inférieurs, des polypes, etc., rien ne nous autorise encore à accepter la
termination de la nature et des fonctions attribuées à ces organes.

III. — Nous venons de voir quelle incertitude s'attache à la détermination des
ganes et des cellules hépatiques chez un certain nombre d'animaux inférieurs,
nt, du reste, la *sécrétion biliaire* est aussi très problématique. Mais, ces excep-
ns mises à part, on peut reconnaître que cette importante sécrétion est mani-
te dans la plupart des animaux, et notamment chez les vertébrés, où nous nous
oposons de l'étudier plus spécialement.
Dès la fin du premier tiers de la gestation, la bile, comme sécrétion dépura-
re, se produit déjà en quantité assez notable, puis peu à peu s'amasse et se con-
stre dans l'intestin qu'elle finit par remplir sous la forme de *méconium*. Au
ment de la naissance, la bile, outre le précédent office qu'elle continue à rem-
r dans la dépuration du sang, paraît concourir à la digestion d'une classe entière
liments.
Nous n'avons à revenir ici, ni sur le *rôle de la bile dans la digestion*, ni sur

(1) LEYDIG, *loc. cit.*, p. 366.
(2) SIEBOLD et STANNIUS, *Manuel d'anat. comp.*, trad. de Spring et Lacordaire, t. I, p. 588.
(3) L. DUFOUR, *Mémoire sur les vaisseaux biliaires des insectes* (*Ann. des sc. nat.*, 2e série, XIX).

la *composition chimique* de ce fluide. Ces études ont été faites avec détail dans le chapitre consacré à la *digestion* (*). — Il nous reste à fixer notre attention sur la sécrétion biliaire considérée au point de vue : 1° de sa source ; 2° de son trajet ; 3° des modifications que lui impriment certaines influences ; 4° de son action dépuratoire sur le sang.

A. — La sécrétion biliaire paraît bien évidemment avoir lieu dans les cellules hépatiques précédemment décrites ; mais celles-ci recevant des vaisseaux de deux ordres, de la veine porte et de l'artère hépatique, il s'agit de déterminer aux dépens de laquelle des deux circulations veineuse ou artérielle la sécrétion s'opère.

Chez le fœtus, avons-nous dit, le foie apparaît de bonne heure, la sécrétion s'établit alors, et, à la naissance, on trouve son produit dans la vésicule et dans l'intestin. A cette période du développement, le foie reçoit un vaisseau important, la *veine ombilicale*, qui apporte des matériaux sans aucun doute utilisés pour la sécrétion biliaire.

Chez l'adulte, la veine ombilicale disparaît, et il ne reste plus à examiner que le rôle relatif de l'artère hépatique et de la veine porte.

Glisson (1) admettait que le sang destiné à fournir au foie les matériaux de la sécrétion biliaire était celui de la veine porte : « Ratum esto hepatis integri officium esse, sanguinem impurum per cavam affluentem excipere, bilemque ab eo secernere, nitidumque jam factum in cavam reducere. » Après avoir pratiqué la ligature de l'artère hépatique, Malpighi (2) ne vit point la sécrétion de la bile s'interrompre, aussi sa conclusion fut-elle la même que celle de Glisson.

Cette opinion était professée par la grande majorité des physiologistes, lorsque Bichat, généralisant cette idée que toutes les sécrétions avaient comme source le sang artériel et que le sang veineux ne pouvait entretenir les phénomènes physiologiques, déposséda la veine porte du rôle qui lui avait été attribué. Il déclara même que l'expérience consistant à lier l'artère hépatique devait amener des désordres considérables, et que d'ailleurs elle était impraticable.

La vérité est que, depuis Malpighi (3), d'autres physiologistes ont pu reproduire l'important résultat qu'avait obtenu cet illustre observateur. Les expériences les plus complètes, dans cette direction, furent d'abord instituées par Simon (de Metz) (4), qui annonce avoir lié l'artère hépatique sur des lapins et des pigeons, mais qui en somme ne donne la relation que des faits observés sur ces derniers. Il lie d'abord les conduits hépatiques (au nombre de deux sur les pigeons), constate qu'alors le foie se colore en vert à sa surface, et que bientôt la bile se résorbe, passe dans la circulation, et apparaît dans le cloaque après avoir été séparée du sang par les reins. — Chez d'autres pigeons, Simon comprend dans la ligature les canaux hépatiques avec l'artère du même nom, et observe absolument les mêmes phénomènes. — Puis, dans une troisième série d'expériences, il agit exclusivement sur l'artère : alors la sécrétion continue à se faire normalement, et, dans ce cas, les canaux hépatiques étant libres, les matières contenues dans le canal intes-

(*) Voir ci-dessus, p. 239 à 256.

(1) *Anatomia hepatis*, p. 383.

(2) *Opera omnia : De hepate*, cap. IV, p. 64 à 66.

(3) *De viscerum structura*. In-12, Londres, 1669, p. 153.

(4) *Expériences sur la sécrétion de la bile* (*Journal des progrès, des sciences et institutions médicales*, 1838, t. VII, p. 215).

tinal offrent leur couleur normale. — Enfin, le même expérimentateur (1) pratique la ligature de la veine porte, et il voit la sécrétion biliaire s'arrêter chez les pigeons, leur foie pâlir, et, malgré la ligature des canaux hépatiques, cet organe ne plus se colorer en vert comme dans les cas précédents.

Aussi, de ces expériences variées Simon n'hésite-t-il point à conclure que le sang de l'artère hépatique ne sert pas à la sécrétion biliaire, et que ce rôle est dévolu au sang de la veine porte.

Dans un mémoire publié en collaboration avec Dujardin, Verger (2) formule cette opinion mixte, à savoir : que l'artère hépatique fournit probablement les *éléments digestifs* de la bile, tandis que la veine porte ne fournit que la *portion excrémentitielle ;* de telle sorte que le foie serait pour les cinq sixièmes environ un organe d'hématose ou de respiration abdominale, et pour un sixième seulement un organe glandulaire, si l'on tient compte du volume comparatif des deux ordres de vaisseaux.

A la suite de ses études sur la structure du foie, dans lesquelles il admet qu'il n'y a pas dans les granulations de vaisseaux formant de plexus, mais que le sang de la veine porte arrive dans les espaces interutriculaires et les traverse pour se rendre dans les veines sus-hépatiques, Lambron (3) revient à la conclusion de Glisson et de Malpighi, que c'est le sang de la veine porte qui est exclusivement chargé de la sécrétion biliaire. Il s'applique à réfuter l'opinion de Bichat, en se basant sur ce que l'on ne doit point assimiler le foie à toutes les autres glandes qui ne reçoivent que du sang artériel, attendu que cet organe présente une disposition vasculaire toute spéciale. Il pense aussi que l'on n'a pas assez réfléchi à la composition du sang de la veine porte lorsqu'on a voulu lui enlever les propriétés nécessaires pour le complément des sécrétions. En effet, dit-il, si l'on songe avec quelle extrême facilité les injections, poussées dans les artères si abondantes de l'intestin, passent dans les radicules de la veine porte, ne peut-on pas admettre que, dans l'état habituel de la circulation, le sang de celle-ci n'a pas perdu tous les principes propres à la nutrition et aux sécrétions. Lambron fait en outre observer que le sang de la veine porte semble se rapprocher notablement de celui qui circule chez les animaux dont les deux cœurs communiquent, et par conséquent chez lesquels aussi c'est un mélange de sang artériel et de sang veineux qui fournit aux sécrétions.

Voyons maintenant quelles sont les observations d'anatomie normale ou pathologique et les expériences qui tendent à déposséder la veine porte du rôle précédent.

Chez les vertébrés, autres que les mammifères, la veine porte communique avec la veine cave postérieure par de larges anastomoses constituant le *système veineux de Jacobson ;* d'où il suit qu'une portion de son sang arrive directement à la veine cave et au cœur, et ne joue aucun rôle par rapport aux fonctions du foie.

On a voulu diminuer l'importance accordée à la veine porte dans la sécrétion dont il s'agit, en tenant compte de cas exceptionnels où ce vaisseau pénétrait directement dans la veine cave sans traverser le foie, et où néanmoins on avait observé la sécrétion biliaire. Les quatre cas cités de ce genre d'anomalie sont dus

(1) *Nouveau Bulletin de la Société philomatique*, 1825.
(2) *Recherches anatomiques et microscopiques sur le foie des mammifères*, 1838.
(3) *Archives générales de médecine*, janvier et février 1841.

à Lieutaud (1), à J. Huber (2), à Abernethy (3) et à Lawrence (4) ; mais les deux derniers seuls paraissent authentiques.

Dans le cas que rapporte Abernethy, la veine porte se rendait dans la veine cave près des rénales, et la veine ombilicale aboutissait aux veines hépatiques. L'artère hépatique offrait un calibre considérable, les matières des intestins étaient colorées par la bile, et il existait une petite quantité de ce quide dans la vésicule. Mais Kiernan (5), qui plus tard a examiné la pièce, fait remarquer que la veine ombilicale était encore perméable et se ramifiait dans le foie. J. Müller (6) admet avec Kiernan la possibilité du passage, par les *vasa vasorum*, du sang de l'artère devenu veineux dans les branches de la veine ombilicale, au lieu de celles de la veine porte. Alors, même dans ce cas, les matériaux de la sécrétion biliaire seraient provenus du sang veineux.

Dans les *Bulletins de la Société anatomique* (7) se trouve consigné un fait d'oblitération de la veine porte par de la matière encéphaloïde : pendant les deux jours qui précédèrent la mort, le malade eut des vomissements bilieux.

Gintrac (de Bordeaux) a réuni un certain nombre de cas d'oblitération de la veine porte à la suite de phlébite. Chez plusieurs sujets offrant une oblitération complète de ce vaisseau, la sécrétion biliaire, affirme cet observateur, n'avait pas été supprimée.

Connaissant ces observations et se rendant d'ailleurs au désir de Gintrac, Oré (8) a tenté des expériences dans lesquelles il avait pour but d'oblitérer la veine porte. Il la lia d'abord tout simplement, mais les trois chiens sur lesquels il employa ce procédé ne survécurent pas plus d'une heure. Alors, sur le conseil de Gintrac, il injecta dans ce tronc veineux une substance hémostatique, comme une solution concentrée de tannin, ou encore du perchlorure de fer, qui put amener la formation d'un caillot, et par suite une oblitération ; mais les chiens succombèrent encore plus vite que dans le cas précédent. Oré dut donc chercher un autre procédé qui cette fois lui réussit : ce procédé consiste à passer, autour de la veine porte, *sans le nouer*, un fil disposé comme une anse, et dont les deux extrémités très longues sortent par la plaie et sont attachées sur le dos de l'animal ; on réunit la plaie par trois ou quatre points de suture et on laisse le fil autour de la veine pendant cinq ou six jours au plus. Après ce temps, le fil peut être enlevé en tirant sur l'une de ses extrémités, et l'on constate généralement que le vaisseau s'est oblitéré sous l'influence de l'irritation locale occasionnée par le contact de ce fil et par les tractions opérées sur lui.

Après l'oblitération de la veine porte, dit Oré, les chiens se rétablissent et vivent, la vésicule est remplie de bile et les fèces sont normalement colorées ; d'où il conclut que ce n'est point le sang de cette veine qui fournit les matériaux de la sécrétion biliaire, et qu'ici comme pour toutes autres sécrétions, il ne faut accorder un pareil rôle qu'au sang artériel (*).

(1) *Historia anatomico-medica*, etc., et *Inst. anat. med.*, p. 190.
(2) *Programma sistens observationes aliquot anatomicas*, etc., p. 34. Cassel, 1760, in-4.
(3) *Philos. Transact.*, 1793, p. 59, 63.
(4) *Med. Chir. Trans.*, vol. V, p. 174.
(5) *Philos. Transact.*, 1833, p. 2.
(6) *Manuel de physiologie*, t. I, trad. de Jourdan, p. 439.
(7) Avril 1836, p. 60.
(8) *Comptes rendus de l'Acad. des sc. de Paris*, 1856, t. XLIII, p. 463.

(*) ANDRAL (*Comptes rendus de l'Acad. des sc.*, 1856, 2e sem., p. 467) rapporte un fait qu'il a observé lui-même, et qui offre des résultats concordants avec ceux qui ont été obtenus dans les

D'après l'exposé qui précède, en face de faits qui semblent se contredire les uns les autres, on ne peut qu'apporter la plus grande réserve dans une conclusion, et reconnaître qu'il y aurait lieu d'instituer de nouvelles expériences, dans le but de chercher la raison de contradictions qui ne sont peut-être qu'apparentes, comme dans celui de juger la question de prééminence d'action de la veine porte ou de l'artère hépatique.

B. — La bile étant formée, il s'agit de déterminer le mécanisme à l'aide duquel elle chemine du foie vers l'intestin.

Le *cours de la bile* reconnaît d'abord pour cause, la continuité de la sécrétion elle-même; ce fluide progresse dans les canaux excréteurs sous l'influence d'une sorte de *vis à tergo*. Les conduits hépatiques jouissent en outre d'une contractilité qu'on ne saurait révoquer en doute, et qui, du reste, s'explique par la présence de fibres musculaires lisses dans l'épaisseur de leurs parois. — Les mouvements respiratoires paraissent avoir de l'influence sur le cours de la bile. « Si, disent Leuret et Lassaigne (1), on met à découvert l'orifice du canal cholédoque sur un animal vivant (cheval), on le trouve contracté; on voit la bile s'écouler par saccades, et de loin en loin lorsqu'il se dilate. Si on l'incise, la bile sort par un jet renouvelé à chaque mouvement d'inspiration et en assez grande quantité. »

Comment la bile arrive-t-elle dans la vésicule? Laissons d'abord de côté une opinion ancienne dans laquelle on considérait la bile comme sécrétée par la vésicule elle-même. Plus tard, on admit que la bile arrivait directement dans ce réservoir à l'aide de canaux *hépato-cystiques;* mais, hors certains cas d'anomalie, ces canaux n'existent point chez l'homme. — Il est certain que la bile remonte dans la vésicule par le canal cystique: son trajet rétrograde paraît dû à son accumulation dans le canal cholédoque, dont l'orifice duodénal souvent contracté (Leuret et Lassaigne) offre d'ailleurs une étroitesse marquée par rapport au calibre du canal lui-même. Haller (2) dit que, si sur un cadavre humain on presse le foie, on fait refluer la bile dans la vésicule, et que chez le vivant, l'orifice du conduit cholédoque comprimé lors de la systole du duodénum, doit, en s'opposant au passage de la bile dans cet intestin, la faire refluer vers la vésicule. Haller rappelle aussi, à cette occasion, que, dans la colique saturnine qui s'accompagne de la contraction spasmodique de l'intestin, la vésicule est turgide : « In colica pictorum, in qua » intestina mire arctantur, bilaria vesicula bile turget ».

Quant à la bile accumulée dans la vésicule, elle en sort à l'aide des contractions propres à ce réservoir, pour rencontrer bientôt celle qui vient du canal hépatique, et passer avec elle dans le conduit cholédoque qui s'ouvre dans le duodénum. Peut-être aussi la compression médiate par l'estomac, rempli d'aliments, favorise-t-elle l'expulsion de la bile hors de la vésicule.

C. — Il nous faut maintenant signaler certaines influences qui peuvent amener des changements plus ou moins appréciables dans la sécrétion biliaire.

expériences précédentes : un malade présenta, à l'autopsie, une oblitération complète de la veine porte, sans avoir eu jamais aucun des symptômes qui indiquent une suspension de la sécrétion biliaire. Cet individu était diabétique.

(1) *Recherches physiologiques et chimiques pour servir à l'histoire de la digestion.* Paris, 1825, p. 83.

(2) *Elementa physiologiæ.* Bernæ, 1764, t. VI, p. 582 et 584.

Sur un animal (chien) porteur de fistule biliaire, on constate, s'il est à jeun, qu'il ne s'écoule qu'une petite quantité de bile ; puis l'écoulement s'active un certain temps après l'ingestion des aliments pour persister assez longtemps après la digestion. Bien évidemment, a-t-on dit, la bile qui est alors sécrétée ainsi a pour but de servir à la digestion suivante, et en l'attendant elle s'accumule dans la vésicule. Quoi qu'il en soit de cette conclusion, notons que le moment où la bile est, en effet, le plus abondamment sécrétée coïncide avec l'accomplissement de la digestion, c'est-à-dire avec l'instant où le sang de la veine porte est le plus chargé de principes étrangers. — Nous n'avons pas à revenir sur la *quantité de bile* sécrétée en vingt-quatre heures ; cette question a déjà été examinée (voir ci-dessus, p. 246). Rappelons seulement, en passant, qu'un lapin, par exemple, sécrète en vingt-quatre heures jusqu'à un huitième de son poids de bile (Bidder et Schmidt).

Il est diverses circonstances qui peuvent influer aussi sur la quantité ou la qualité de la sécrétion biliaire. — Les pays chauds, la température élevée de l'été, semblent activer cette sécrétion. — Diverses substances médicamenteuses, les émétiques, certains purgatifs (gomme-gutte, coloquinte, protochlorure de mercure, etc.), les matières résineuses, les épices, sont réputés accroître momentanément la production de la bile. — Bouisson (1), laissant périr des animaux par une asphyxie lente, a vu la bile être sécrétée en quantité notablement plus considérable. — D'après C. H. Schultz (2), les chiens nourris de matières végétales sécréteraient moins de bile que ceux qui font usage de matières animales. — Schultz, puis Blondlot (3), admettent que l'usage des matières grasses modifie la sécrétion biliaire et en augmente la quantité. — Enfin Bouchardat et Sandras (4), après avoir donné, pendant trois jours, à des chiens, des soupes contenant 45 grammes de suif, virent augmenter dans la bile la cholestérine et les autres matières grasses : ce fluide était verdâtre.

Des substances introduites accidentellement dans le sang peuvent se retrouver dans la bile, et quelques études intéressantes ont été faites à ce point de vue, surtout par Mosler (5), qui a essayé de faire pour le foie et son produit de sécrétion ce qui, avant lui, avait déjà été tenté avec succès pour d'autres organes glandulaires : pour les reins, par Wœlher et par Frerichs ; pour la glande mammaire, par Eckhard.

Mosler, ayant injecté, dans la veine crurale d'un chien de moyenne taille, porteur d'une fistule biliaire, de l'eau à 36°, trouva, deux heures après, de l'*albumine* dans la bile, qui, chez le chien, n'en contient pas normalement. Huit heures après l'injection, ce principe avait disparu tout à fait. — Injectée directement dans le sang, l'albumine passe également dans la bile. — Normalement, le sucre, qui se trouve en forte proportion dans le tissu du foie, ne passe point dans la bile. Mais, si l'on injecte du sucre de canne ou du sucre de raisin dans le sang, on les retrouve dans la bile et dans l'urine, et l'on constate, suivant Mosler, qu'ils s'éliminent plus facilement par l'urine que par la bile. — L'iodure de potassium, ingéré à la dose de 2 grammes avec les aliments, se montre rapidement dans le fluide biliaire du chien, mais en disparaît aussi très vite. — Le sulfate de cuivre s'élimine par ce même fluide, mais plus aisément encore par l'urine. — Le calomel, le nitrate de

(1) *Comptes rendus de l'Acad. des sciences*, etc., 8 mai 1842, p. 1010.
(2) *De alimentorum concoctione*. Berlin, 1834, p. 68.
(3) *Essai sur les fonctions du foie, etc.* Paris, 1846.
(4) *Annuaire de thérapeutique* pour l'année 1845.
(5) *Untersuch. über den Uebergang von Stoffen aus dem Blute in die Galle*. Giessen, 1857.

d'une classe entière d'aliments (matières grasses);—que sa suppression, uide digestif, diminue très notablement, mais n'empêche pas tout à fait ı de ces matières; — que si, après la ligature du canal cholédoque, les ccombent *promptement aux accidents de résorption de la bile*, ils peu- re pendant des mois et des années, lorsque, pour prévenir ces accidents, une fistule biliaire ; — qu'alors, par des raisons précédemment expo- ı n'est possible qu'avec une alimentation plus abondante.

ı'est point une humeur purement excrémentitielle, car des recherches précises de Bidder et Schmidt (2) il résulte qu'une grande partie de *résorbée dans l'intestin.* L'eau, le mucus redissous, le chlorure de phosphate de chaux, le fer, le soufre, la soude, les phosphate, carbo- ste de soude, telles sont *surtout* les parties *résorbables* de ce fluide. En is le mucus), ne sont-ce pas là des principes nécessaires, constants, de l'autres liquides et de tissus animaux, des dissolvants de certaines sub- ganiques, des médiateurs indispensables de diverses transformations ent au sein de l'économie animale ? Dès lors, puisque, aussi bien que les organiques eux-mêmes, ces matières sont destinées à l'entretien et au nent des parties solides et liquides de l'organisme, celui-ci devait tendre rrer, au lieu de les laisser perdre par les fèces. Il n'en est pas de même principes résinoïdes ou de matières colorantes de la bile, ni en parti- ı cholestérine, que nous avons déjà dit être un de ces produits destinés lés de l'économie et former d'ailleurs le plus grand nombre des calculs

part, on ne saurait oublier que la bile se présente chimiquement comme composé de matières très hydrogénées et très carbonées, associées à de ussi a-t-on été amené à penser qu'en partie introduites dans le torrent , ces matières y seraient insensiblement brûlées, leur carbone étant

en signalant des rapports inverses d'activité entre ces deux organes dans les divers âges de la vie ou suivant les différents degrés de l'échelle animale. Il paraît, en effet, rationnel d'admettre que, pendant la vie intra-utérine, la sécrétion biliaire a pour usage d'épurer le sang qui, privé de l'influence de l'air dans les poumons, se revivifie dans le placenta. Entre les produits que les poumons séparent du sang et ceux qu'en sépare le foie, il y a cette différence que, dans le premier cas, les matières éliminées sont déjà brûlées, tandis que, dans le second, elles sont encore combustibles. — Rappelons enfin, comme argument propre à démontrer le rôle de dépuration rempli par le foie, que, chez les animaux épuisés par les fatigues, la souffrance, l'abstinence prolongée, et alors que s'arrêtent ou languissent la plupart des autres sécrétions, on voit celle de l'organe hépatique persister avec une activité remarquable que prouvent les déjections biliaires : c'est qu'en effet la sécrétion de la bile est, comme l'urine, une de celles qui ne sauraient s'interrompre sans danger pour l'organisme. Aussi, en considérant sa continuité, l'abondance de son produit pendant les intervalles de la digestion, même chez les animaux où l'absence de vésicule empêche que ce fluide ne soit tenu en réserve pour un travail digestif subséquent, ne faut-il pas trop s'étonner de voir quelques expérimentateurs modernes refuser à la bile toute influence sur la fonction digestive, pour ne la regarder, à tort, que comme une humeur purement excrémentitielle.

IV. — Il y a dix ans environ, Cl. Bernard (1) annonça que les animaux possèdent, comme les végétaux, la faculté de former du sucre de toutes pièces, quelle que soit la nature de l'alimentation, et que cette *nouvelle fonction* appartient au *foie*, siége d'une double sécrétion : la sécrétion de la bile et la sécrétion du sucre.

Cette découverte, qui produisit une grande sensation, donna lieu en même temps à une controverse des plus actives. Après bien des expériences contradictoires, la théorie de la *fonction glycogénique du foie*, qu'on croyait enfin établie sur des faits physiologiques d'une incontestable évidence, semble aujourd'hui être infirmée par de récentes observations.

Après avoir exposé les phases diverses de cette question, il nous faudra examiner si le véritable point de vue sous lequel les faits qu'elle embrasse doivent être envisagés est ou non celui d'une *nouvelle fonction du foie*.

Les observations de Magendie (2) avaient appris que, dans les animaux nourris de matières sucrées ou de substances féculentes transformées en sucre par la digestion, le sang renferme du *sucre*. Cl. Bernard constata que, chez des animaux soumis à une alimentation exclusivement animale, ou même à jeun, le sang des veines sus-hépatiques contient du sucre (environ 1 pour 100) qui ne provient pas de l'intestin, puisque le sang de la veine porte n'en montre aucune trace. Ce sucre, d'après cet observateur, est nécessairement produit par le foie, et le tissu de cet organe chez un animal sain, quelle que soit la nature de l'alimentation, renferme 1,5 à 2 pour 100 de sucre. « Le tissu du foie, dit-il, est imprégné de sucre comme celui du testicule de sperme, celui des glandes sali-

(1) *Archiv. génér. de médecine*, 1849. — *Nouvelle fonction du foie considéré comme organe producteur de matière sucrée chez l'homme et les animaux*. In-4, Paris, 1853. — *Leçons de physiologie expérimentale*. 1854-1855.

(2) *Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris*, 1846.

salive... donc le sucre est un produit de sécrétion du tissu hépatique (1).. »
arut pas suffisamment démontré que, parce que le foie contenait du
en cédait au sang qui le traversait, on fût en droit de conclure que le
ait formé dans le foie. On objecta que le sucre pouvait provenir d'une
ion sucrée ou féculente antérieure, et s'être accumulé dans le foie, comme
e pour d'autres substances, les substances minérales en particulier (*mer-*
mic, antimoine, etc.). Cl. Bernard répondit en montrant que, chez les ani-
clusivement carnivores, après une diète animale prolongée pendant plu-
ès, chez le poulet dans l'œuf, chez le fœtus dans les derniers mois de la
e, le tissu hépatique contient du sucre, et il affirma que d'ailleurs on
ve pas en proportion sensiblement plus considérable chez les animaux
e substances féculentes ou sucrées que chez ceux qui sont nourris exclu-
de viande.
sang des herbivores contient du sucre, la chair musculaire est impré-
e sang sucré : les animaux nourris de viande reçoivent donc, disait-on, du
dehors. D'autre part, en acceptant même que le sucre prît naissance
oie, on pouvait supposer, avec Lehmann et Frerichs, que sa production
uniquement aux dépens du sang qui traverse le foie, le tissu hépatique
nant rien et n'intervenant que par une simple action de contact.
jections amenèrent à constater un fait tout à fait inattendu : le foie
un animal sain, puis lavé par un courant d'eau froide traversant les
, est complétement privé de sucre, et il en est de même du foie d'un
quel on a fait subir certaines lésions des centres nerveux qui ont pour
aisser la température des organes abdominaux ; mais, si l'organe est
é à lui-même pendant quelques heures à la température ordinaire, le
pparaît de nouveau en proportion quelquefois considérable.
expérience démontrait, d'une manière irrécusable, que du sucre prend
dans le tissu hépatique, et dès lors la *fonction glycogénique du foie*
hors de toute contestation. D'autres résultats importants, conséquence
de l'expérience précédente, ne tardèrent pas à se produire : il était évi-
me substance capable de subir la transformation glycosique préexistait
ie à l'apparition du sucre. S'appuyant sur la présence de cette substance
animaux soumis à une alimentation azotée, sur la transformation d'une
rotéique (l'hématosine) en sucre, obtenue par Lehmann à l'aide de réac-
compliquées, Cl. Bernard avait cru pouvoir conclure :
ue le sucre se forme dans le foie aux dépens de matières azotées, albumi-
e que ces matières donnent naissance au sucre par suite d'une véritable
ion. »
ientôt, et presque simultanément, Hensen (2) et Cl. Bernard (3) par-
isoler la *substance glycogène hépatique*, et lui trouvant les plus grandes
de propriétés et de composition élémentaire avec les substances glyco-
rigine végétale, ils la considérèrent comme une espèce de *dextrine* ou de
imale, appartenant en propre au parenchyme du foie ; de son côté,
prétendit même la reconnaître dans les cellules hépatiques sous forme

cit.
unication à la Société d'histoire naturelle de Würzbourg, décembre 1856.
ptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, mars et juin 1857.
rsuchungen über Zuckerbildung, etc., 1859.

de granulations que l'iode colore en brun. Les mêmes observateurs constatèrent également que cette matière glycogène peut, comme l'amidon végétal, se transformer en sucre sous l'influence de la diastase, de la salive ou du suc pancréatique, mais que le sang contenu dans les vaisseaux du foie lui fournit le ferment spécial qui opère sa transformation pendant la vie.

La théorie de la *glycogénie hépatique* atteignit alors l'apogée de sa fortune; la plupart des physiologistes acceptaient la *nouvelle fonction du foie*. Elle avait dans l'organisme animal ses conditions d'existence propre : les maladies, les lésions graves la supprimaient ou la suspendaient pendant un certain temps; de brillantes expériences montraient l'influence qu'avait sur elle le système nerveux par l'excitation directe ou réflexe des nerfs du foie; la piqûre de la moelle, au-dessus de l'origine des nerfs phréniques, supprimait la production du sucre; la piqûre du plancher du quatrième ventricule, au niveau de l'origine des pneumogastriques, l'exagérait au contraire, et la quantité de sucre alors contenue dans le sang (plus de 3 pour 100) étant trop considérable pour y être détruite, le sucre apparaissait dans l'urine, l'animal présentait les symptômes du *diabète sucré*. Cette affection, jusque-là d'une nature si équivoque, n'était plus autre chose qu'un trouble, une exagération de la nouvelle fonction, etc.

Cependant les adversaires et les partisans de la glycogénie hépatique semblaient avoir également méconnu que tous les actes qui s'accomplissent dans un organe ne constituent pas, pour cet organe, autant de fonctions spéciales; que, pour caractériser une fonction, il faut à la fois un élément, un tissu propre, et un rôle spécial dans un des grands actes, soit de la vie organique, soit de la vie animale. A diverses reprises, Cl. Bernard avait, il est vrai, supposé et cherché dans le foie deux espèces d'éléments distincts, destinés les uns à la sécrétion de la bile, les autres à la sécrétion du sucre; mais ses tentatives étaient restées infructueuses. Cet investigateur n'avait pas été plus heureux lorsqu'il avait essayé d'assigner à la *nouvelle fonction* un rôle digne de l'importance qu'il lui attribuait. Il était assurément difficile d'admettre, avec lui, que l'usage du sucre sécrété par le foie « était d'empêcher l'infiltration des tissus, de celui du poumon en particulier, par le sang » (1); car, dans les états morbides de toutes espèces qui suppriment la production du sucre par le foie, cette infiltration devrait se produire. — On devait aussi considérer comme un peu hasardée, et tirée d'expériences trop incomplètes, l'idée que l'espèce de fermentation qui accompagne la formation du sucre a pour effet « de maintenir dans les liquides animaux cette mobilité indispensable à l'entretien des phénomènes de la vie, d'empêcher les matières de tomber à l'état de produit fixe, et que c'est sous l'influence de cette fermentation que les cellules organiques et en particulier les globules blancs du sang prennent naissance. » (Cl. Bernard.) — Chose singulière d'ailleurs, le foie enlevé à l'animal, puis lavé, privé de sang, abandonné sur une table, accomplit la fonction glycogénique avec autant, sinon avec plus d'énergie, que lorsqu'il faisait partie de l'organisme vivant!

Un physiologiste anglais, Pavy (2), qui, témoin des expériences faites au collége de France, avait d'abord complétement accepté les idées de leur auteur sur la

(1) Cl. Bernard, *Leçons de physiologie expérimentale*, 1855, p. 401.
(2) Pavy, *The alleged Sugar forming Function of the Liver* (Guy's Hospital Reports, 1858).

lycogénique du foie, a même été conduit par ses propres observations à mation du sucre par le foie à l'état normal, pendant la vie, et à con- phénomène comme se produisant *post mortem*, ou bien comme résultant s de la circulation hépatique (*). Si contraires que paraissent ces expé- ix résultats annoncés par un grand nombre d'observateurs, elles ont été s répétées et confirmées depuis par un autre physiologiste, Rob. ll (1), et elles paraissent mériter considération.

rs, dans les faits mêmes dont la connaissance est due aux habiles inves- le Cl. Bernard, il y avait de sérieux motifs de mettre en doute la signi- n'il avait attribuée à la découverte de la formation du sucre dans le tissu

onstration de la présence du sucre et d'une *matière glycogène* identique du foie, dans les muscles et les poumons des fœtus, semblait devoir la voie de la véritable interprétation de la glycogénie animale, et faire nme inadmissible l'idée que des organes aussi différents de tous points , les muscles, le poumon, pussent être les agents d'une même fonction. ant, lorsque Cl. Bernard, poursuivant ses recherches, rencontra dans les u fœtus des éléments renfermant une substance glycogène, il ne vit là nfirmation de sa théorie, et il crut avoir découvert de nouveaux *organes* chargés temporairement de la *fonction glycogénique* avant le dévelop- foie.

tte dernière découverte, qui semblait le couronnement de l'œuvre, fut nt le point de départ de nouvelles investigations qui ont placé la question re terrain, et ont enfin donné, à ce que nous croyons, aux faits relatifs génie leur véritable signification.

rquables, en effet, que fussent les faits nouveaux sur lesquels on se basait ttre l'existence d'organes hépatiques dans les annexes du fœtus, ils pré- néanmoins une discordance frappante : chez les rongeurs, c'était dans a, à la surface extérieure de l'œuf, que se trouvait l'organe hépatique e; chez les ruminants, cet organe s'étalait sur une autre membrane, sur libre de l'*amnios;* chez les oiseaux, c'était dans les parois du *sac* ue Cl. Bernard prétendait l'avoir trouvé. — Comment admettre qu'une ttribuée à un organe spécial pût ainsi, suivant les âges et les espèces, r son siége dans telle ou telle partie ?

première communication à la Société de biologie, cet observateur avait ent assimilé, tant pour la forme que pour le contenu, les cellules glyco- placenta, et surtout celles de l'amnios, à des cellules hépatiques. Mais t (2), soumettant à un nouvel examen les prétendus organes hépatiques s, constata que les cellules dont ils étaient composés ne présentaient, quoi

e sang extrait, à l'aide d'une sonde, de l'oreille droite ou des veines sus-hépatiques, sur nt et vigoureux, PAVY constate à peine de faibles traces de sucre, lorsqu'on a pris soin gêner la respiration, et d'empêcher les mouvements convulsifs de l'animal.—Le tissu du rapidement sur un animal sain, et plongé immédiatement dans un mélange réfrigérant, empêcher toute fermentation, se montre également presque complétement privé de

e Physiology of Diabetic Sugar in the animal Œconomy (*Dublin Quarterly Medical Science*, 1859).

ubstances amyloïdes et de leur rôle dans la constitution des tissus des animaux la physiologie de l'homme et des animaux, 1859, p. 308).

qu'on en eût dit, aucune analogie avec les éléments du foie, et n'étaient rien autre chose que des cellules d'épithélium corné. Guidé par ce premier indice, il rechercha aussitôt, et trouva, suivant ses prévisions, dans la plupart des épithéliums et dans quelques autres éléments cellulaires du fœtus, les caractères attribués aux prétendues *cellules glycogènes spéciales* des organes hépatiques; il retrouva même ces caractères dans l'épithélium du vagin chez la femme adulte, et dans quelques plaques épithéliales de l'enduit saburral de la langue chez des enfants nouveau-nés.

Constatant, contrairement à l'opinion de Cl. Bernard, que les cellules qui renfermaient la substance glycogène n'étaient nullement des éléments particuliers, des cellules glycogènes spéciales, mais bien les éléments constituants propres de différents tissus, Rouget fut conduit à envisager la question à un point de vue différent de celui auquel on s'était placé jusque-là. Il ne vit dans les substances amylacées que des matières intervenant dans la constitution des tissus au même titre que les matières grasses et les matières albuminoïdes, et dans le sucre qu'un produit de désassimilation analogue à l'urée, à la créatine, à la créatinine, etc.

Reprenant à ce point de vue l'étude du développement des tissus embryonnaires, il trouva que, chez les larves de batraciens, la substance glycogène (*zoamyline*) ne se montre à l'état libre dans aucun autre tissu que dans les cartilages d'ossification, que c'est là aussi qu'on l'observe d'abord chez l'embryon de poulet; que, dans de très jeunes embryons de ruminants, chez lesquels les éléments des cartilages, des muscles, des épithéliums, renferment de la zoamyline, on ne rencontre encore aucune trace de ces cellules dites *glycogènes* à la surface ni du placenta ni de l'amnios. La substance amyloïde, qui disparaît d'assez bonne heure dans les éléments de ces derniers organes, persiste souvent jusqu'à une époque très rapprochée de la naissance dans d'autres tissus.

Dans des embryons de cobaye, deux ou trois jours au plus avant la naissance, les cellules cornées de l'extrémité des ongles, et tout l'épithélium de l'intestin, contiennent encore de la zoamyline en abondance : cependant depuis longtemps déjà le foie sécrète de la bile, et ses cellules complétement développées fournissent de la matière glycogène et du sucre.

« Ces faits démontrent évidemment, dit Ch. Rouget, qu'il n'y a aucun rapport entre la présence de la zoamyline dans tel ou tel tissu et son développement dans le foie. — La présence d'éléments renfermant une substance amylacée dans l'amnios ou le placenta n'est qu'un cas particulier et secondaire du fait général de l'existence de la zoamyline dans la plupart des tissus de l'embryon. Il n'y a lieu de voir là ni un organe hépatique temporaire, ni une fonction nouvelle du placenta. L'existence d'une substance amylacée indique non une nouvelle fonction d'organe, mais une nouvelle propriété de tissu; la production du sucre n'est pas le but, mais seulement la conséquence de la présence dans l'organisme de la zoamyline. Le sucre que la sécrétion urinaire accumule dans les liquides allantoïdien et amniotique chez les fœtus dont les tissus renferment de la zoamyline, est le résultat de la désassimilation de cette substance, comme l'urée de celle des substances protéiques. »

Il est manifeste qu'au point de vue de la glycogénie, le foie de l'adulte est absolument dans les mêmes conditions que les organes embryonnaires dans la constitution desquels entre la substance glycogène. Dans le tissu hépatique comme dans

les tissus embryonnaires, au contact du sang, dans l'acte d'échange des matériaux d'assimilation et de désassimilation, la zoamyline se transforme en sucre. Celui-ci se détruit dans le sang ou passe dans la sécrétion urinaire s'il est en proportion considérable. Le tissu hépatique ne présente pas seul cette particularité, car même chez l'adulte, dans certaines conditions (*), le système musculaire de la vie animale renferme de la zoamyline et fournit du sucre; le tissu pulmonaire est dans le même cas.

« Si l'on voulait voir là une fonction, on serait contraint, ajoute Rouget, d'attribuer successivement la fonction glycogénique non-seulement à des organes très divers, mais à des systèmes entiers de tissus. N'est-il pas plus logique de reconnaître que ce que l'on avait cru être une fonction nouvelle localisée dans un organe, n'est autre chose qu'une manière d'être permanente ou transitoire, une propriété nouvelle des tissus des animaux établissant une parfaite conformité dans la constitution des tissus de tous les êtres organisés? » En effet, Rouget (1) a prouvé que les divers états sous lesquels on rencontre les substances amyloïdes chez les végétaux se retrouvent chez les animaux.

Sans méconnaître l'importance des résultats obtenus par Cl. Bernard, surtout en ce qui concerne la formation du sucre dans l'organisme animal, nous ne saurions accepter l'interprétation que cet habile expérimentateur a donnée aux faits dont il a enrichi la science. — Nous croyons, comme Rouget, que la transformation de la matière glycogène en sucre ne constitue pas une fonction spéciale du foie, qu'elle n'est simplement qu'un résultat de la nutrition du tissu propre de cet organe.

C'est donc dans le chapitre consacré à l'étude de la *nutrition* que nous examinerons le rôle de la matière glycogène dans la constitution des tissus, que nous rechercherons aux dépens de quelles substances elle se forme, dans quelles conditions elle se métamorphose en sucre, et quelle influence peuvent avoir sur cette métamorphose l'exagération ou la suppression de l'action de telle ou telle partie du système nerveux, et les modifications de la circulation. C'est là que trouveront leur véritable place la plupart des faits qu'embrasse la question complexe de la glycogénie.

DU PANCRÉAS ET DU SUC PANCRÉATIQUE.

Nous avons eu déjà l'occasion d'étudier le suc pancréatique sous le rapport de sa *composition chimique*, de sa *quantité* et de son *rôle dans la digestion* (voir ci-dessus, p. 256-270).

Notre but, dans ce chapitre consacré à l'étude générale des glandes et des sécrétions, se réduira à faire connaître certaines particularités relatives à l'anatomie comparée et à la texture du pancréas, particularités que nous avons cru devoir passer précédemment sous silence.

Le *pancréas*, longtemps désigné sous le nom de *glande salivaire abdominale*, fait partie de la classe des glandes en grappe composées. Sa structure est en tout semblable à celle des autres glandes du même ordre : il est formé de lobules dont les plus petits sont constitués par des vésicules glandulaires, généralement arron-

(*) Dans l'état d'hibernation et dans l'état de paralysie des muscles des membres par suite de la section des nerfs moteurs.

(1) *Mém. et Rec. cit.*, p. 314.

dies et présentant de 0mm,05 à 0mm,09 de diamètre. Ces vésicules présentent une membrane propre et une couche d'épithélium pavimenteux, dont les cellules renferment un grand nombre de granulations graisseuses, et une substance précipitable par l'acide acétique, mais soluble dans un excès de ce réactif.

Les canaux excréteurs se réunissent successivement pour former le canal de Wirsung. Leurs parois renferment du tissu conjonctif, des fibres élastiques, et sont tapissées à leur face interne par un épithélium à cellules cylindriques. Dans l'épaisseur des conduits principaux, se rencontrent de petites glandes en grappe analogues à celles que l'on observe dans les canaux biliaires.

Les vaisseaux sanguins offrent la même disposition que dans les glandes salivaires : ils forment des réseaux autour de chaque vésicule glandulaire. Les vaisseaux lymphatiques sont plus nombreux que dans les glandes précédentes. Quant aux nerfs, venus du grand sympathique, ils suivent le trajet des vaisseaux.

L'examen histologique du tissu du pancréas est tout à fait insuffisant pour le faire distinguer nettement des glandes salivaires ou des glandes de Brunner. En effet, toutes ces glandes, étant formées de culs-de-sac et résultant d'une agglomération de vésicules, présentent entre elles les plus grandes analogies. Aussi Cl. Bernard (1) a-t-il recherché des caractères physico-chimiques propres à caractériser le suc et le tissu pancréatiques. Il a donné, comme caractères du tissu pancréatique, principalement les deux suivants : 1° Le tissu du pancréas acidifie rapidement les graisses neutres. 2° Ce tissu fournit, en se décomposant, une matière colorante particulière.

Lorsqu'on abandonne dans l'eau, dit cet observateur, à une décomposition spontanée, le tissu pancréatique, on obtient une infusion offrant successivement les caractères qui suivent : Dans la première période, on trouve une matière coagulable par les acides et la chaleur ; mais il n'existe pas de traces de matière colorante. — Dans la deuxième période, l'infusion donne une coloration rouge très intense en présence du chlore, et disparaissant par un excès de réactif. — Dans la troisième période, on n'obtient plus de coloration rouge par le chlore, mais on l'obtient par l'acide nitrique.

Toutes ces périodes se succèdent par des nuances insensibles.

Comparativement aux glandes salivaires et au foie, le pancréas apparaît beaucoup plus tardivement, beaucoup plus irrégulièrement dans la série animale.

Les céphalopodes, dont le foie est déjà nettement limité, offrent d'autres appendices glandulaires qui ont été regardés comme représentant le pancréas — Chez les insectes, on a cru devoir faire l'analogue du pancréas de quelques couches glandulaires annexées à l'iléon. — Un pancréas lobulé, et entièrement semblable à celui des vertébrés supérieurs, ne se rencontre guère que chez les plagiostomes, les chimères, ainsi que chez quelques poissons osseux, spécialement l'*Anguilla vulgaris*. Dans d'autres poissons, cet organe glandulaire est remplacé par des prolongements tubuleux de l'intestin ou *appendices pyloriques*. Mais le pancréas et les appendices pyloriques manquent simultanément chez un assez grand nombre de poissons, les soles, les cyprinoïdes, etc., etc. — Dans la classe des reptiles, l'existence du pancréas est constante. Il est placé vers le commencement de l'intestin grêle. Le canal pancréatique, qui vient s'ouvrir aux environs du canal cholédoque, est rarement double. — Quant aux oiseaux, leur pancréas

(1) *Mémoire sur le pancréas*. In-4, Paris, 1856, p. 26 et suiv.

est toujours situé dans l'anse du duodénum et souvent composé de deux lobes plus ou moins imparfaitement réunis. Le nombre des conduits excréteurs est d'un à trois. Lorsqu'il y en a trois, le dernier s'insère habituellement à une certaine distance des deux autres, dans l'angle de l'anse du duodénum, tandis que ceux-ci, alternant avec les conduits hépatique et cystique, s'ouvrent à côté d'eux dans l'intestin.

Tous les mammifères ont un pancréas. Ordinairement les divers conduits de cette glande se réunissent en un seul canal qui s'ouvre tantôt dans le canal cholédoque ou son ampoule, tantôt directement dans l'intestin. Assez souvent néanmoins il existe deux canaux pancréatiques. Regnier de Graaf (1) avait déjà décrit, chez l'homme, deux conduits pancréatiques distincts et indépendants l'un de l'autre, ou bien s'anastomosant ensemble. J. F. Meckel (2) considéra l'existence de deux conduits pancréatiques comme une anomalie, ou plutôt comme une persistance de ce que l'on observe chez le fœtus; Huschke (3) se range à la même opinion.

Ayant repris en détail cette étude des conduits pancréatiques, Cl. Bernard (4) a constaté, chez l'homme, l'existence de deux conduits, l'un principal et l'autre accessoire, qu'il appelle *canal récurrent*. Celui-ci semblerait avoir plus de tendance à déverser son liquide dans le conduit principal que dans l'intestin. Verneuil (5) est arrivé au même résultat, et a décrit le petit canal sous le nom de *canal azygos*.

Règle générale, chez l'homme, le canal pancréatique principal s'abouche dans l'intestin avec le canal cholédoque. Quelquefois les deux canaux pancréatiques s'ouvrent dans le duodénum isolément, indépendamment du canal cholédoque.

Chez le *chien*, il existe deux conduits pancréatiques: le plus gros s'ouvre isolément à 1 ou 2 centimètres au-dessous du conduit biliaire, et le petit tout près de ce conduit. Le *chat* offre deux canaux pancréatiques, dont l'ouverture dans l'intestin se fait dans des points très variables; le plus souvent l'un d'eux s'abouche avec le canal cholédoque. Les *lapins* ont un canal pancréatique principal qui vient s'ouvrir à 30 ou 35 centimètres au-dessous de l'ouverture pylorique; parfois on rencontre un très petit conduit accessoire aboutissant au canal cholédoque, ou très près de lui. Chez le *cheval*, le gros conduit s'abouche avec le canal cholédoque, et le petit arrive à l'intestin, 5 à 7 centimètres au-dessous du premier. Le canal pancréatique principal du *bœuf* s'ouvre à 40 ou 50 centimètres plus bas que le canal biliaire. Celui du *mouton* et de la *chèvre* se rend dans le canal biliaire, plusieurs centimètres avant l'ouverture de celui-ci dans l'intestin.

SALIVE, SUC GASTRIQUE ET SUC INTESTINAL.

Ces trois fluides ont été examinés plus haut à propos de la DIGESTION (*).

La *salive* a dû fixer successivement notre attention sous le triple rapport de ses *usages mécaniques* dans la mastication et la déglutition, de sa *composition* et de son

(1) *Tractatus anatomico-medicus de succi pancreatici natura et usu*, 1671.
(2) *Anatomie comparée*, t. III.
(3) *Traité de splanchnologie et des organes des sens*, trad. de Jourdan. Paris, 1845.
(4) *Mémoire sur le pancréas*, 1856, p. 7 et suiv.
(5) *Mémoires de la Société de biologie*, 1852, t. III, p. 133.

(*) *Voir ce chapitre, pages 114-155-176-270.*

rôle chimique dans l'accomplissement du travail digestif. Ce dernier rôle, nous le rappelons, consiste à modifier les matières féculentes pour les convertir en glycose, comme font aussi le fluide pancréatique et le suc intestinal.

A l'histoire physiologique de la salive nous ajouterons ici quelques détails relatifs à l'*appareil sécréteur* de ce fluide, envisagé dans la série animale, détails que nous avons dû omettre précédemment comme ne se rattachant pas d'une manière directe à l'étude de la digestion.

On commence à rencontrer, chez les *holothurines*, des annexes glandulaires communiquant avec la partie antérieure du tube digestif, et pouvant, à la rigueur, être assimilées à des *organes salivaires*. — Les appendices regardés comme tels dans les *annélides* sont insérés soit dans le pharynx, soit sur l'origine du canal intestinal. — Chez les *céphalophores*, qui se nourrissent d'aliments solides et qui le plus souvent sont munis d'un appareil masticateur, il existe presque toujours des organes salivaires très manifestes, enveloppant l'œsophage ou l'estomac et pourvus en avant de deux canaux excréteurs revêtus d'un épithélium ciliaire. — Les précédents organes, composés d'un grand nombre de tubes glandulaires formant tantôt plusieurs lobes et tantôt une seule masse, offrent un notable développement chez les *céphalopodes*. — Parmi les *crustacés*, les myriapodes présentent des glandes salivaires très distinctes, dont les conduits excréteurs s'ouvrent dans la cavité buccale; elles manquent complétement aux autres crustacés. — Au contraire, on les retrouve chez la plupart des *arachnides :* les ixodes, en particulier, en ont de très volumineuses qui consistent en deux gros amas de vésicules pourvus de canaux excréteurs ouverts dans la cavité buccale, à la base de la lèvre inférieure. — La plupart des *insectes* sont munis d'organes salivaires consistant en une ou deux, rarement trois paires de tubes incolores et d'inégales longueurs. Dans les acridides, les blattides, les locustides, etc., ces organes, d'ailleurs très développés, se composent de deux, quatre ou six grappes de glandes vésiculeuses, placées dans le thorax et pourvues de longs canaux excréteurs. Chez les cimicides, la structure des glandes salivaires mérite surtout de fixer l'attention: presque toujours elles sont lobulées et divisées, par un étranglement, en deux portions. Indépendamment de ces deux glandes divisées, beaucoup de cimicides ont encore une, rarement deux paires de tubes salivaires simples qui, à leur extrémité, se dilatent parfois en une espèce de vésicule.

Les glandes salivaires paraissent manquer à tous les *poissons*. Cependant Rathke et J. F. Meckel disent les avoir rencontrées dans quelques espèces.

Les *batraciens* et les *reptiles* à respiration branchiale se rapprochent des poissons, en ce qu'ils ne possèdent point de véritables glandes salivaires; leur bouche et leur langue sont tapissées de couches glandulaires sécrétant un mucus gluant, qui, jusqu'à un certain point, tient lieu de véritable salive. Les *sauriens* et les *ophidiens* ont de vraies glandes salivaires. On en reconnaît de trois sortes chez les serpents : une glande sublinguale, des glandes labiales gingivales, et des parotides ou des glandes vénénifères proprement dites dans certaines espèces. Les glandes parotides sont très volumineuses chez les serpents venimeux: placées derrière l'orbite, au-dessus de l'articulation de la mâchoire, et comprimées par un muscle particulier, elles se vident ordinairement par une dent plissée et creuse, logée, avec plusieurs germes d'autres dents semblables, dans un sac membraneux et fendu.

La salive des *oiseaux* est généralement épaisse, visqueuse; elle offre surtout ce caractère dans le pic, où elle forme sur la langue un enduit gluant dont l'animal se

t pour attraper sa proie. C'est principalement chez les oiseaux qui vivent de stances végétales, que les glandes salivaires sont le plus développées. Ces orga-, plus petits chez les oiseaux de proie, y sont aussi plus nombreux. Il y en a de q sortes dans l'autour : deux, situées au-dessus de l'articulation de la mâchoire, pellent les glandes vénénifères de certains serpents et sont en même temps ana-ues aux parotides de l'homme ; deux autres, placées au palais, versent la salive deux conduits situés à la voûte palatine, vers la pointe recourbée du bec ; les res occupent la partie inférieure de la cavité orale.

Parmi les *mammifères*, les cétacés vrais sont dépourvus, comme les poissons, glandes salivaires. Au contraire, ces glandes sont très volumineuses chez les acés herbivores. En général, ainsi que cela s'observe dans la classe des oiseaux, glandes sont d'ailleurs plus développées chez tous les mammifères herbivores. trois paires qui existent dans l'espèce humaine se retrouvent habituellement s les autres ordres de mammifères : toutefois, rudimentaires chez les phoques, parotides manquent à l'échidné et au fourmilier ; les cétacés herbivores ne sèdent que deux parotides volumineuses, et la plupart des marsupiaux n'ont de glandes sublinguales (R. Owen). — Le volume relatif des trois paires de ndes salivaires est variable. Cuvier (1), qui donne pour principal usage à la ive d'humecter la bouche et d'enduire les substances alimentaires, afin de les re glisser dans l'œsophage et d'en faciliter la déglutition, fait observer que le ume des diverses glandes salivaires est, jusqu'à un certain point, en rapport c la disposition des dents et avec la partie de la bouche dans laquelle l'aliment ouve le plus d'action de la part de ces dernières : les glandes sous-maxillaires t surtout remarquables par leur volume chez les rongeurs, pour correspondre activité spéciale que déploient les dents incisives, et ce sont les parotides qui uièrent le volume relatif le plus considérable dans les ruminants et les solipèdes, ces glandes font couler principalement la salive aux environs des dents molaires, i sont les plus actives. La sécrétion est même accrue encore, chez le bœuf et la ebis, par une glande particulière qui est située dans la fosse zygomatique et rbite, et que Nuck a observée aussi chez le chien, avec quelques modifications.

Les glandes salivaires des mammifères appartiennent à la classe des *glandes en appe* composées (p. 897).

Nous n'avons rien à ajouter ici relativement à la *sécrétion du suc gastrique et suc intestinal*, et aux usages de ces deux fluides dans la digestion (voir ci-dessus, 176, 270).

SÉCRÉTION DES LARMES.

Ce n'est qu'en traitant du sens de la vue et des parties protectrices de l'œil ne nous procéderons plus loin à l'étude de la *sécrétion des larmes*.

DES REINS ET DE LA SÉCRÉTION DE L'URINE.

I. — Nous avons vu combien, dans les espèces inférieures, il était difficile de déter-iner ou de reconnaître le foie réduit à son élément fondamental (cellules hépa-ques) ; des difficultés encore plus grandes se présentent pour la détermina-

(1) *Anat. comp.*, t. IV, 1re partie.

tion des reins, qui, d'ailleurs, paraissent avoir, dans le règne animal, une existence aussi générale que le foie. Ehrenberg décrit bien, dans les rotifères, deux corps glanduliformes situés auprès du canal intestinal, mais il pense qu'on doit les regarder plutôt comme des organes salivaires que comme des organes urinaires. L'existence de ceux-ci ne saurait plus être contestée chez les mollusques où s'opère une sécrétion d'acide urique signalée par Jacobson (1). Dans le plus grand nombre des céphalophores, le rein consiste en une glande de structure lamelleuse, placée généralement dans le voisinage de la veine branchiale ou pulmonaire principale. Son canal excréteur accompagne le rectum, et aboutit fréquemment auprès de l'anus. Beaucoup d'auteurs croient devoir considérer comme les reins des insectes les *vaisseaux de Malpighi*, qu'on rencontre généralement chez ces animaux dans leurs divers états de développement; ils appuient leur opinion sur la présence reconnue de l'acide urique dans le produit de ces organes.

Dans le dernier ordre des *poissons* (les branchiostomes), les reins consistent en plusieurs corpuscules isolés et situés dans le voisinage du pore abdominal. Des petits lobules séparés et très vasculaires constituent ces organes chez les myxinoïdes (J. Müller); et chacun de ces lobules communique avec une petite poche qui est en rapport, à l'aide d'un canal grêle et court, avec une autre aboutissant à l'uretère. La vessie manque encore et les uretères viennent s'ouvrir dans une papille placée au devant de l'anus. Il y a un rudiment de vessie urinaire chez les plagiostomes. Les reins des esturgeons sont très allongés et s'étendent depuis la cavité branchiale jusqu'à l'extrémité de la cavité abdominale; l'uretère longe le bord interne de chaque rein, et, après avoir reçu le canal déférent ou l'oviducte de son côté, finit par s'ouvrir derrière l'anus. Ils occupent aussi, en général, toute la longueur de la cavité abdominale des poissons osseux, et sont néanmoins proportionnellement moins gros chez les poissons plus parfaits que les autres sous plusieurs rapports, c'est-à-dire dans les raies et les squales (Cuvier). — Quant à leur structure, les reins des poissons (d'ailleurs si intimement unis qu'on peut les regarder comme ne formant tous deux qu'un seul corps) semblent formés d'une masse entièrement homogène et rappelant la substance de la rate humaine.

La division en deux reins devient plus manifeste chez les *reptiles*, où ces organes offrent pourtant un volume relatif moindre que dans la classe précédente. Les reins de la salamandre rappellent beaucoup ceux des poissons par leur étendue et leur forme allongée. Ils sont plus ramassés et plus ovales dans les tortues, et offrent en outre à leur surface des divisions qui simulent les circonvolutions cérébrales. Les *uretères* offrent une longueur variable suivant la distance à laquelle les reins se trouvent du cloaque : ils sont courts dans les grenouilles, les salamandres et les sauriens, et au contraire très longs dans les ophidiens. La *vessie*, qui existe chez tous les reptiles nus, et, parmi les reptiles écailleux, chez les sauriens et les chéloniens, vient s'ouvrir dans la paroi postérieure du cloaque. Souvent, dans les tortues et les grenouilles, elle occupe une grande partie de la cavité abdominale, distendue qu'elle est par un liquide aqueux et clair. Dans les ophidiens, les boas surtout, Davy (2) a signalé, entre le cloaque et le rectum, un réservoir particulier d'urine, séparé de ces deux organes par des muscles sphincters ; ici l'urine ressemble à de la bouillie et consiste en acide urique presque pur.

(1) *Journal de physique*, t. XCI, p. 318.
(2) MECKEL'S *Archiv*, t. VI, p. 346.

Les reins des *oiseaux* ont généralement un volume assez considérable. La prédominance de la respiration, la diminution de la perspiration cutanée, qui, même chez l'homme, entraîne une activité plus énergique de la sécrétion rénale, et aussi la faible quantité d'eau qui s'échappe par les voies respiratoires (les oiseaux n'ayant jamais l'haleine vaporeuse, même pendant les froids les plus vifs), telles sont les causes que Tiedemann (1) et Carus (2) croient devoir assigner à la proportion considérable de la masse des reins dans ces animaux. Les uretères, qui sont contractiles, se portent derrière le rectum et aboutissent à la cavité uro-génitale, en dedans des orifices des organes génitaux. Il n'y a point de vessie urinaire chez les oiseaux.

Avant de passer à l'étude de la texture intime du rein chez les *mammifères* et l'homme, rappelons que, chez les poissons, les reptiles et les oiseaux, cet organe reçoit, outre le sang que lui donne l'artère rénale, du sang noir qui provient des parties postérieures du tronc et des membres. Les veines qui ramènent le sang de ces parties, au lieu de se joindre entièrement au tronc de la veine cave postérieure, donnent des branches qui se distribuent, les unes dans le rein, les autres dans le foie, de manière à constituer des *veines portes rénales* et *hépatiques*. Ces observations, qui sont dues à Jacobson (3), ont subi des objections de la part de G. Cuvier, de J. F. Meckel, etc. Mais les recherches plus récentes de Rich. Owen (4), de Hyrtl (5), de Bonsdorff (6) de Gratiolet (7), de S. Jourdain (8), etc., paraissent définitivement donner gain de cause aux observations du célèbre anatomiste danois, touchant l'existence d'un *appareil porte rénal* dans les trois premières classes de vertébrés.

Considérés au point de vue histologique, chez les mammifères et chez l'homme, les *reins* appartiennent à la classe des *glandes en tubes composées*. Les uretères, la vessie et l'urètre constituent leur appareil excréteur.

Les reins sont enveloppés par une membrane fibro-élastique, très mince, fort peu adhérente, et qui s'arrête sur les vaisseaux au moment où ils pénètrent dans l'épaisseur de ces organes au niveau du hile. Cette membrane est elle-même entourée d'une capsule adipeuse qui offre plus ou moins d'épaisseur.

Une coupe transversale du rein permet de constater, à l'œil nu, qu'il se compose de deux substances distinctes : l'une périphérique ou *substance corticale*, et l'autre profonde ou *substance médullaire*. La première, d'aspect grisâtre, homogène, épaisse de 2 à 5 millimètres, envoie vers le centre de l'organe des prolongements (colonnes de Bertin) séparés par des intervalles à peu près égaux. La seconde substance, qui est blanchâtre, striée et disposée sous forme de cônes à base périphérique et à sommet central (pyramides de Malpighi), remplit les précédents intervalles : tous ces cônes, au nombre de huit à quinze, suivant les

(1) *Zoologie*, t. II, p. 542.
(2) *Anat. comp.*, trad. franç. de Jourdan, t. II, p. 287. Paris, 1835.
(3) MECKEL'S *Archiv*, 1817, t. III, p. 147, 154. — *Bulletin de la Soc. philom. de Paris*, avril 1813. — *De systemate venoso peculiari in permultis animalibus observato*. Hafniæ, 1821.
(4) *Lect. on the Comp. Anat. und Physiol. on the Vertebr. Anim.*, t. I, p. 284.
(5) *Denkschriften der kaiserl. Akad. der Wissenschaften zu Wien*, 1851, t. II, p. 27.
(6) *Acta Societ. scient. Fennicæ*, 1852, t. III, p. 571.
(7) *Journal l'Institut*, 1853, p. 386.
(8) *Rech. sur la veine porte rénale des oiseaux, etc.*, thèse inaug. de la Faculté des sciences de Paris, 1860.

sujets, aboutissent au centre du rein, dans une poche membraneuse commune (*bassinet*).

Chaque pyramide de Malpighi étant indépendante, il est permis de considérer le rein comme composé de lobes distincts et parfaitement semblables, en sorte qu'il suffit d'en étudier un seul pour avoir une notion complète de la glande tout entière.

Si, de prime abord, on est conduit à admettre dans le rein deux substances d'aspect différent, il n'en est plus de même lorsque l'on vient à pénétrer plus avant dans la structure de cet organe. On trouve en effet qu'il est essentiellement constitué par de petits canaux (canalicules urinifères), rectilignes dans la substance médullaire, flexueux dans la substance corticale, mais se continuant entre eux sans interruption. — Quelle est la disposition des canalicules urinifères et comment se comportent les vaisseaux du rein? Ainsi se trouve posé le problème difficile de la texture intime de cette glande.

Le sommet de chaque pyramide de Malpighi, ou papille rénale, est creusé de trois à cinq cents petits orifices, d'où partent autant de tubes droits, cylindriques, qui ont en moyenne $0^{mm},034$ à $0^{mm},054$ de largeur : ce sont les canalicules urinifères (tubes de Bellini ou tubes droits du rein). Chacun d'eux ne tarde pas à se bifurquer; quelquefois il se divise en trois et même quatre canalicules plus petits. Ces derniers se subdivisent encore, en sorte que tous ces tubes réunis représentent bientôt une petite pyramide (pyramide de Ferrein) dont le sommet répond à la papille et la base à la substance corticale.

Les tubes urinifères, principalement ceux qui occupent le centre de la pyramide, présentent encore un trajet rectiligne en pénétrant dans la substance corticale; mais bientôt ils s'infléchissent, se contournent un grand nombre de fois sur eux-mêmes, et semblent tout d'abord entrelacés d'une façon inextricable. Cependant une étude attentive a permis de constater que, tout en devenant flexueux, ils restent parallèles et sont assez distincts des pyramides voisines pour avoir mérité le nom de *lobules du rein*. Chaque lobule renferme environ deux cents canalicules urinifères (Huschke), et chaque canalicule se termine par une extrémité renflée en vésicule renfermant dans sa cavité une petite houppe vasculaire : c'est le *corpuscule de Malpighi*.

Les corpuscules de Malpighi ont été évalués en nombre à environ deux millions (Huschke). Ils sont disséminés tout autour des lobules, et correspondent à la terminaison, ou, si l'on veut, à l'origine de chacun des canalicules urinifères. Leur diamètre est d'environ $0^{mm},14$ à $0^{mm},02$.

Les tubes urinifères offrent, dans toute l'étendue du rein, une structure identique : ils sont essentiellement constitués par une membrane propre, tapissée à l'intérieur d'une couche de cellules épithéliales. — La membrane est amorphe, très mince, transparente; elle possède néanmoins quelques fibres élastiques qui augmentent sa solidité. Elle a de $0^{mm},0009$ à $0^{mm},0014$ d'épaisseur dans les tubes droits; dans les tubes flexueux elle est plus mince, plus difficile à isoler, et n'offre que de $0^{mm},0007$ à $0^{mm},0009$ d'épaisseur, d'après les mesures dues à Kölliker. — Quant à la tunique interne ou épithéliale, elle est constituée par une seule couche de cellules polygonales, dont le caractère essentiel est de s'altérer avec la plus grande facilité. Sous l'influence de l'eau, elles se gonflent, crèvent et remplissent les canalicules de leur contenu, c'est-à-dire d'une substance finement

granuleuse, de noyaux sphériques, de gouttelettes transparentes, un peu jaunâtres, formées probablement d'albumine, de quelques gouttelettes graisseuses et plus rarement de granulations pigmentaires. Ces cellules s'altèrent très rapidement après la mort, ce qui rend leur étude difficile chez l'homme.

Les cellules des canalicules droits présentent de $0^{mm},009$ à $0^{mm},014$ de largeur sur $0^{mm},009$ d'épaisseur, tandis que celles des canalicules flexueux, un peu plus volumineuses, offrent de $0^{mm},028$ à $0^{mm},027$ de largeur sur $0^{mm},01$ d'épaisseur.

Nous avons vu déjà que chacun des tubes flexueux du rein se termine par une vésicule renfermant une touffe vasculaire, ou *corpuscule de Malpighi*. Il nous reste à exposer la texture de ce corpuscule; mais auparavant il importe de savoir comment se comportent les artères du rein. — Née de l'aorte abdominale, l'artère rénale, ordinairement unique de chaque côté, se dirige horizontalement vers le hile du rein correspondant, et là fournit un certain nombre de branches qui pénètrent en divergeant dans l'organe, gagnent les colonnes de Bertin et les traversent en leur abandonnant de nombreuses divisions. Arrivée à l'union des deux substances, chaque division artérielle, tantôt indépendante, tantôt communiquant avec celle de l'espace voisin, forme une arcade qui entoure la base de la pyramide de Malpighi : de la convexité de cette arcade, partent un grand nombre de rameaux parallèles qui se dirigent vers la périphérie du rein. Sur les côtés, ils fournissent plusieurs ramuscules dont la plupart se terminent en s'enroulant un grand nombre de fois sur eux-mêmes pour former les *glomérules* de Malpighi ; quelques-uns vont néanmoins directement s'aboucher avec le système capillaire de la substance corticale.

Les *corpuscules de Malpighi*, organes essentiels de la sécrétion rénale, sont disséminés dans la substance corticale, et peuvent être aperçus à l'œil nu, surtout si les artères du rein ont été préalablement et finement injectées. Ils se présentent alors sous la forme de points rouges ayant parfois le volume d'une tête d'épingle. — Deux parties distinctes forment ces corpuscules : une *capsule* enveloppante, et une touffe vasculaire ou *glomérule* contenu dans cette capsule. — La plupart des anatomistes actuels se rangent à l'opinion de W. Bowman (1), qui regarde la capsule comme n'étant autre chose que l'extrémité dilatée en ampoule des conduits urinifères. La membrane propre de la capsule est un peu plus épaisse que celle des tubes urinifères ($0^{mm},001$ à $0^{mm},0018$). Elle est tapissée à sa surface interne d'une couche de cellules épithéliales à peu près analogues à celles des tubes, et s'applique immédiatement sur le *glomérule*.

Pour former ce dernier, un rameau artériel perfore la capsule et se divise aussitôt en cinq ou six ramuscules, qui fournissent eux-mêmes un grand nombre de capillaires enroulés et ne communiquant pas entre eux. Ces capillaires se reconstituent au centre du glomérule en un tronc unique, qui sort de la capsule à peu près au niveau du point où avait pénétré l'artère et sur un point opposé à l'embouchure du tube urinifère. Chaque glomérule présente donc un vaisseau afférent et un vaisseau efférent. Ce dernier n'est pas encore une veine en sortant du glomérule; il va se perdre dans le réseau capillaire de la substance corticale du rein.

La surface de chaque glomérule est-elle tapissée par une couche de cellules? Ce

(1) *On the Structure and Use of the Malpighian Bodies of the Kidney* (*Philos. Transact.*, 1842, I, p. 57).

fait paraît avoir été mis hors de doute par les recherches récentes d'Isaacs (1). Pour démontrer leur présence, cet auteur a injecté des solutions aqueuses et éthérées dans l'uretère de façon à faire éclater la capsule, les artères étant préalablement injectées. Il a pu reconnaître ainsi, sur les glomérules des reins de l'ours noir, du chat et du raton, des cellules à noyau un peu plus volumineuses que celles qui tapissent la surface interne de la capsule.

La substance corticale et la substance médullaire présentent un réseau capillaire un peu différent. Celui de la substance corticale est constitué par des vaisseaux extrêmement multipliés qui enveloppent dans leurs mailles polygonales les tubes flexueux. Ces mailles ont de 0mm,01 à 0mm,03 de diamètre. Les capillaires des pyramides et ceux de la substance corticale, qui en sont très voisins, pénètrent entre les tubes de Bellini jusqu'au niveau de la papille et les enveloppent dans leurs mailles, qui sont plus larges et plus allongées que les précédentes. Ces deux réseaux se confondent à la base des pyramides.

Les radicules de la veine rénale naissent de deux points différents : il en est qui partent de la superficie de l'organe, et qui prennent souvent, en se groupant autour des lobules, une forme étoilée; on les appelle *étoiles de Verheyen*. Elles pénètrent entre les lobules du rein, s'accolent aux artères, reçoivent sur leurs côtés, et souvent à angle droit, les veines des lobules voisins, et se réunissent bientôt pour former des troncs plus volumineux qui gagnent le hile du rein dans l'intervalle des pyramides. Mais il est aussi d'autres veines qui naissent du sommet des papilles, montent entre les tubes droits de la substance médullaire, reçoivent dans ce trajet les veines de la substance corticale les plus rapprochées de la pyramide, et vont enfin s'ouvrir à la base de celle-ci, dans des veines plus volumineuses, pour suivre ensuite le même trajet qu'elles. Les veines rénales sont dépourvues de valvules.

Les lymphatiques du rein, peu abondants, ne sont pas encore très bien connus. On en a décrit de superficiels et de profonds, qui se réunissent au niveau du hile et vont de là se jeter dans les ganglions lombaires. — Les nerfs viennent du grand sympathique, mais on ignore complétement leur mode de terminaison dans l'intérieur de l'organe.

Quelques anatomistes avaient nié la présence du tissu cellulaire dans le parenchyme rénal : les recherches d'Isaacs tendent à établir qu'il y existe au contraire en assez grande abondance, et qu'il forme une sorte de gangue ou stroma environnant de toutes parts les tubes urinifères.

W. Bowman (2) a signalé la présence de cellules vibratiles dans la partie du tube urinifère qui fait suite à la capsule (chez les serpents et les tortues), cellules vibratiles qui sont disposées de façon à faciliter la progression des urines vers le bassinet. On n'est pas d'accord sur la question de savoir s'il en existe de semblables chez les mammifères. Isaacs, qui s'est beaucoup occupé de cette question, a constaté, dans les reins du chien, la présence de cellules isolées et jouissant d'un mouvement vibratile ou rotatoire, mais il n'a jamais rencontré de cellules épithéliales portant des cils. Aucun auteur, que nous sachions, n'en a découvert chez l'homme.

(1) *Journal de physiologie de l'homme et des animaux*, juillet 1858, p. 577.
(2) *Mém.* et *Rec. cit.*

— Les reins sont chargés d'éliminer toutes les matières, liquides ou solubles 'eau, qui passent en excès dans le sang au moment de la digestion, aussi bien lles qui proviennent des phénomènes de nutrition accomplis dans l'intimité sus. Cet usage des reins constitue la *sécrétion urinaire*, dont la continuité rait être longtemps interrompue sans danger pour l'organisme.

si, de tout temps, a-t-on fait jouer à cette sécrétion un rôle important, que l'on ne connaissait encore que les caractères physiques de l'urine. C'est nent fort tard qu'on a commencé à acquérir quelques notions sur le mode rétion de ce liquide et sur sa composition : il faut arriver aux travaux de le jeune, de Scheele, de Wollaston, de Cruikshank, Vauquelin et Fourcroy, rouver des analyses plus ou moins exactes concernant cette composition.

s savons déjà que la sécrétion urinaire a lieu chez tous les vertébrés, chez llusques et quelques insectes; mais son produit offre des différences assez es suivant les espèces animales.

nt d'étudier en elle-même la sécrétion propre aux reins, nous avons à rap- les principaux caractères physiques et chimiques de l'urine.

s l'espèce humaine, l'urine, à l'état normal, est un liquide limpide, de r jaune clair ou jaune brun, de saveur amère et légèrement salée, d'une nauséabonde caractéristique. Sa densité, très variable, se trouve ordinaire- comprise entre 1,015 et 1,030. Sa réaction est acide. Après son émission, ne tarde pas à se décolorer, à déposer des sels, à devenir alcaline et à exhaler leur ammoniacale très marquée.

nalyse de l'urine normale chez l'homme, d'après BERZELIUS (1).

Eau	933,00
Urée	30,10
Acide lactique libre Lactate ammonique Extrait de viande soluble dans l'alcool Matières extractives solubles seulement dans l'eau	17,14
Acide urique	1,00
Mucus vésical	0,32
Sulfate potassique	3,71
Sulfate sodique	3,16
Phosphate sodique	2,94
Phosphate ammonique	1,65
Chlorure sodique	4,45
Chlorure ammonique	1,50
Phosphate calcique et phosphate magnésique	1,00
Silice	0,03
	1000,00

s tard, en étudiant les phénomènes relatifs à la *Nutrition*, nous ferons con- les différences qu'ont offertes à l'analyse les urines de divers animaux.

caractères de l'urine humaine varient suivant le moment de son émission : e du matin (dite urine du sang), l'urine des boissons et l'urine des aliments nt, en effet, d'une manière sensible. Aussi, pour leurs analyses, la plupart imistes ont-ils pris toute l'urine rendue dans les vingt-quatre heures. —

(1) *Traité de chimie*, trad. franç. de Esslinger. Paris, 1833, t. VII, p. 392.

L'urée, par exemple, dans une analyse faite par J. F. Simon (1), à trois époques différentes de la journée et sur le même individu, existait dans la proportion de 8,40, 7,57, 16,26 pour 1000.

La réaction acide de l'urine serait due, suivant Berzelius, à la présence d'une certaine quantité d'acide lactique libre. Mais, dans ses expériences, Liebig affirme n'avoir jamais rencontré cet acide : il admet que l'acidité de l'urine fraîche est due aux acides hippurique et urique. Suivant d'autres auteurs, on doit la rapporter à la présence du phosphate acide de soude.

L'urine, abandonnée à elle-même, s'altère rapidement, elle devient alcaline; mais il faut, pour cela, qu'elle soit laissée au libre contact de l'oxygène, car, conservée dans des vases bien clos, elle ne perd ni son acidité, ni sa transparence, ni son odeur primitives. Liebig pense que, dans le premier cas, l'oxygène se fixe sur les matières extractives azotées contenues dans l'urine, qu'il les transforme en ferments sous l'influence desquels l'urée devient bientôt du carbonate d'ammoniaque.

La surface du liquide ne tarde pas à se couvrir d'une pellicule blanchâtre, et des cristaux de phosphate ammoniaco-magnésien se déposent sur les parois du vase.

Tous les principes constituants de l'urine sont tenus en dissolution ou en suspension dans l'*eau*, dont la proportion, ainsi que le prouve l'analyse de Berzelius, est de 933 sur 1000. — D'après Becquerel et Rodier (2), la moyenne générale de la quantité d'eau rendue en vingt-quatre heures, à l'état physiologique, serait de 1282gr,634.

Nous verrons plus loin, à propos des modifications que diverses influences impriment à la sécrétion urinaire, combien la quantité d'eau est sujette à varier.

L'*urée* est le principe constituant de l'urine le plus remarquable à tous égards; c'est à l'urée que ce liquide doit une partie de ses caractères les plus essentiels.

Rouelle le jeune fit le premier connaître l'urée, en 1773, sous le nom d'*extrait savonneux* de l'urine. Puis vinrent les recherches de Cruikshank, celles de William Prout, Fourcroy, Vauquelin, Wœhler, Liebig, Prévost et Dumas, etc.

Pour obtenir ce principe immédiat, qui est de toutes les matières azotées connues la plus riche en azote, il faut d'abord faire évaporer l'urine jusqu'à consistance de sirop très clair, puis ajouter à ce liquide son volume d'acide azotique pur à 24 degrés : alors on entoure le mélange d'un bain de glace, et bientôt des cristaux se précipitent. Ces cristaux sont de l'azotate d'urée qu'on recueille et lave avec de l'eau à zéro; puis on les fait égoutter et on les comprime entre des doubles de papier joseph. Alors ils sont redissous dans l'eau et mis à digérer avec du charbon animal. A l'azotate d'urée ainsi obtenu, on ajoute du carbonate de potasse afin de séparer l'acide azotique; en évaporant à sec et reprenant la masse par l'alcool très rectifié, on dissout l'urée devenue libre, sans dissoudre le nitrate ni le carbonate de potasse. La dissolution alcoolique évaporée fournit des cristaux d'urée.

L'urée ainsi obtenue se présente sous la forme de longs prismes aiguillés, parfaitement blancs. Elle est d'une saveur fraîche et piquante; sa densité est de 1,35. Elle se dissout dans son propre poids d'eau froide; cette dissolution s'altère lentement à l'air et se convertit en carbonate d'ammoniaque.

(1) *Handbuch der angewandten med. Chemie*, etc. Berlin, 1840.
(2) *Traité de chimie pathologique*, p. 273. Paris, 1854.

L'urée se rencontre principalement dans l'urine de l'homme et de tous les animaux qui se nourrissent d'aliments fortement azotés. Sa présence tient beaucoup, en effet, à l'alimentation; car, si l'on soumet un herbivore à un régime plus azoté que de coutume, ou bien à l'abstinence (ce qui revient au même, puisque, dans ce dernier cas, l'animal vit aux dépens de sa propre substance), on observe que l'urée dans ses urines parfois en si grande quantité, qu'elle se dépose spontanément sous forme de cristaux. La sécrétion de ce principe est beaucoup moindre pendant l'alimentation avec des graines ou bien avec des matières amylacées. L'ingestion de substances gélatineuses donne lieu, au contraire, à la production d'une assez grande quantité d'urée : n'étant pas assimilées, ces substances sont décomposées dans le sang, et l'urée, résultat de cette décomposition, est excrétée par les reins. Toutefois nous verrons plus loin que l'urée ne provient pas exclusivement de l'oxydation directe d'une portion des aliments azotés.

Suivant certains observateurs, l'addition d'une assez grande quantité de chlorure de sodium aux aliments augmente la proportion d'urée. Il en serait de même pour les causes qui activent la circulation.

Les âges et les sexes font aussi sentir leur influence sur les proportions de l'urée. D'après les recherches de Le Canu (1) : « 1° L'urée est sécrétée en quantités égales, pendant des temps égaux, par un même individu. — 2° Elle est sécrétée en quantités variables, pendant des temps égaux, par des individus différents. — 3° Les quantités variables d'urée que des individus différents sécrètent pendant des temps égaux sont en rapport avec le sexe et l'âge de ces individus : elles sont plus grandes chez les hommes dans la force de l'âge que chez les femmes, et plus grandes chez celles-ci que chez les vieillards et les enfants. — En négligeant les fractions, la moyenne d'urée excrétée en vingt-quatre heures a été 28 grammes pour les hommes; pour les femmes, 19; pour les vieillards, 8; pour les enfants de trois ans environ, 13; et pour les enfants de quatre ans, 4. »

Jusqu'à Prévost et Dumas, il était admis que l'urée se formait dans le rein. Mais, dans une expérience célèbre où ils enlevèrent cet organe à des animaux, ces deux observateurs reconnurent la présence de l'urée dans le sang; d'où l'on inféra bientôt que le rein ne représente qu'une sorte de filtre à travers lequel passeraient les éléments constituants de l'urine.

Si l'urée existe dans le *sang*, il ne paraît guère que ce soit à un autre titre que comme produit excrémentitiel qu'elle concourt à la composition de ce liquide. Mais dans quelle partie de l'organisme se forme-t-elle? Les analyses du sang normal n'en avaient pas d'abord dénoté la présence, attendu que ce principe immédiat y existe en quantité très faible (*). Dans ces derniers temps, Wurtz, ayant analysé la *lymphe* du chien, du cheval et du bœuf, y a trouvé une proportion d'urée beaucoup plus forte que celle qui est normalement contenue dans le sang (**). L'urée qui existe dans ces deux liquides provient à la fois de l'oxydation directe dans le sang d'une portion des aliments azotés, et des métamorphoses qui se passent dans l'intimité même des tissus; elle est le dernier terme des oxydations successives qu'y éprouvent les matériaux azotés devenus impropres à la

(1) *Annales des sciences nat.*, 1839, t. XII, p. 92.

(*) La proportion de l'urée dans le sang normal serait de 0,018 pour 100 d'après MARCHAND, et de 0,016 selon J. PICARD.

(**) Environ 2 pour 1000.

vie. Du reste, ces oxydations ne paraissent point se passer seulement dans le système capillaire sanguin, mais sur place en quelque sorte, dans la trame des organes, partout où les matériaux constituants ont besoin d'être détruits et renouvelés.

L'urée ne se rencontre pas seulement dans le sang et la lymphe. — Millon (1) en a trouvé dans l'humeur vitrée; on en a rencontré aussi normalement, dit-on, dans la salive, dans le suc gastrique, et l'on a été ainsi amené à considérer l'urée comme un produit généralement répandu dans l'économie.

Lorsque les reins ont été enlevés, l'urée, n'étant plus éliminée, reste dans le sang, et alors surviennent une série de symptômes groupés sous le nom d'*urémie*. Ce sont des phénomènes assez analogues à ceux que produit l'opium, et accompagnés de convulsions qui peuvent entraîner la mort.

L'urée est-elle donc un poison? Divers expérimentateurs assurent avoir pu en injecter dans le sang une assez forte proportion sans avoir déterminé des accidents appréciables (*). — Les précédents phénomènes morbides ont été attribués à la décomposition de l'urée en carbonate d'ammoniaque, supposition qui n'est pas encore suffisamment reconnue exacte. Le carbonate d'ammoniaque, injecté dans le sang, détermine bien quelques accidents nerveux, mais n'amène point nécessairement la mort.

Quelle est la voie d'élimination de l'urée après l'ablation des reins? Cl. Bernard (2) conclut de ses expériences à ce sujet: — 1° Qu'après l'ablation de ces organes, les sécrétions intestinales, et particulièrement la sécrétion gastrique, augmentent beaucoup de quantité et qu'elles changent de type, c'est-à-dire qu'au lieu de rester intermittentes et de ne se former que dans le moment du travail digestif, ces sécrétions se produisent, comme le faisait l'urine, d'une manière continue, aussi bien pendant le jeûne que pendant la digestion; — 2° Qu'indépendamment de cette augmentation dans la quantité des sécrétions gastro-intestinales, il intervient encore, après l'ablation des reins, dans ces mêmes sécrétions, un élément chimique de plus, qui est l'ammoniaque sous forme de combinaison saline (**); — 3° Que l'élimination abondante de liquides ammoniacaux par l'intestin persiste tant que l'animal (chien) reste vivace, tandis que, quand il s'affaiblit, les sécrétions intestinales diminuent et se tarissent progressivement; que c'est aussi à cette période de l'expérience que l'urée commence à s'accumuler dans le fluide sanguin.

L'*acide urique* est une autre substance organique azotée de l'urine, qu'on regarde comme le produit d'un travail de combustion éliminatoire moins avancée que pour l'urée, et dont il faut sans doute rapporter l'origine à une oxydation incomplète des vrais principes immédiats du sang. Découvert par Scheele, qui lui donna le nom d'*acide lithique*, il est rarement à l'état libre dans l'urine de l'homme,

(1) *Etudes de chimie organique*. Lille, 1849.

(*) Toutefois GALLOIS (*Comptes rendus de la Soc. de biol.*, 1857, p. 52) a constaté que l'urée, qui, introduite dans l'estomac des lapins, passe intacte dans l'urine, et par conséquent d'abord dans le sang, est un poison énergique à la dose de 20 grammes, pour un animal pesant 2 kilogrammes, et que celui-ci succombe dans les convulsions et le tétanos.

(2) *Leçons sur les liquides de l'organisme*. Paris, 1859, t. II, p. 49.

(**) Ce n'est donc pas de l'urée en nature qui se retrouve dans les produits du tube digestif, ce sont des sels ammoniacaux : cela tient à une réaction secondaire, en vertu de laquelle l'urée se transforme, au contact des membranes intestinales, en carbonate d'ammoniaque.

le plus souvent il est uni à la soude. Cet acide se trouve dans [illegible] un grand nombre d'animaux : c'est ainsi que les urines des oiseaux, des serpents et des mollusques sont presque uniquement composées d'acide urique, et que l'engrais, si usité sous le nom de guano, consiste essentiellement en ammoniaque provenant des excréments d'oiseaux qui habitent [illegible] de la mer du Sud. — L'acide urique n'existe pas dans [illegible] des herbivores, il est remplacé par l'*acide hippurique*.

Chez l'homme, l'acide urique se dépose au fond du vase sous la forme d'un sédiment jaune ou jaune rougeâtre. A l'état cristallin, il est blanc, inodore et sans saveur.

Pour l'extraire de l'urine, il faut réduire ce liquide à consistance sirupeuse et le traiter par l'alcool à 36°. Il se forme un précipité insoluble formé par des urates sels, et aussi par de l'acide urique et des urates. Ce précipité est lavé avec l'alcool, puis traité par l'eau distillée aiguisée d'acide chlorhydrique qui dissout les sels. On filtre, et le résidu qu'on obtient, consistant en une poudre d'un blanc grisâtre, est de l'acide urique (1).

L'acide urique peut aussi s'obtenir en broyant des calculs urinaires provenant de l'homme ou les excréments des oiseaux et des serpents, et les traitant à chaud par une lessive faible de potasse ou de soude. Il suffit d'ajouter à la liqueur filtrée un excès d'acide chlorhydrique pour voir l'acide urique se précipiter d'abord sous forme de flocons, puis bientôt de petites paillettes brillantes (2).

L'acide urique, insoluble dans l'alcool, l'est très peu dans l'eau. Il se dissout dans l'acide sulfurique concentré. — Les acides urique et nitrique, mis en présence, produisent une vive effervescence. Si l'on traite la liqueur par l'ammoniaque, il se développe une couleur rouge pourpre : c'est là une réaction caractéristique de la présence de l'acide urique.

L'acide urique, avons-nous dit, est un produit d'oxydation des substances albuminoïdes moins avancée que l'urée : il n'est donc pas étonnant qu'on le trouve en moins grande proportion dans l'urine, quand les phénomènes de combustion diminuent. C'est en effet ce qui a lieu dans le cas de repos prolongé ou de vie sédentaire; l'acide urique paraît aussi plus abondant dans l'urine des animaux à sang froid que dans celle des animaux à sang chaud.

Un régime fortement azoté et longtemps soutenu favorise la production de l'acide urique. Il résulte assez souvent du peu de solubilité de cet acide que, s'il est sécrété en quantité considérable, il se dépose dans le rein ou dans la vessie et forme alors le noyau d'un calcul.

L'acide urique existe en très petite quantité dans l'urine à l'état physiologique : pour 1000 parties d'urine, la moyenne oscille entre 0,4 et 0,6 (3).

Suivant les recherches de Le Canu (4), des individus de sexe et d'âge différents, soumis à des genres différents d'alimentation, à des influences extérieures différentes, ont rendu, dans l'espace de vingt-quatre heures, des quantités d'acide urique qui ont varié de 0,089 à 1,575. — De même que l'urée, ajoute cet observateur, l'acide urique est sécrété en quantités égales, pendant des temps égaux, par un même individu.

(1) Le Canu, *Mém. cit.*
(2) Dumas, *Chimie physiol.*, p. 385.
(3) Becquerel et Rodier, *Traité de chim. path.* Paris, 1854, p. 263.
(4) *Mém. et Rec. cit.*, p. 283.

Comme l'urée, l'acide urique se rencontre primitivement tout formé dans le sang; il est probable qu'après la néphrotomie, il est également éliminé par l'intestin.

L'action des acides urique et nitrique l'un sur l'autre donne naissance à des produits nombreux et complexes dont nous n'avons pas à nous occuper ici, comme l'alloxane, l'uramile, l'alloxantine, la murexide, la murexane, etc.

Indépendamment de l'acide urique, quelques urines contiennent encore d'autres substances azotées : comme la xanthine, trouvée par Marcet (1); la cystine, due à Wollaston (2), et l'acide rosacique, découvert par Proust (3). C'est en analysant des calculs urinaires, que ces chimistes ont reconnu les substances précédentes qui peuvent aussi se rencontrer dans l'urine elle-même.

L'*acide hippurique* est spécial à l'urine des herbivores. Cependant, si l'on soumet ces derniers à un régime azoté ou bien à une diète absolue, on constate bientôt qu'il est remplacé par l'acide urique. Il peut apparaître dans l'urine humaine en quantité même un peu supérieure à celle de l'acide urique après un régime végétal prolongé. — L'acide benzoïque, introduit dans l'économie, y subit une transformation remarquable : cet acide, après avoir emprunté de l'azote dans l'intimité des tissus, est ensuite rejeté à l'état d'acide hippurique.

L'acide hippurique a été bien étudié par Millon (4), qui a pu en retirer 9,10 et 11 grammes d'un litre d'urine fraîche d'herbivore. Quand l'urine humaine contient de l'acide hippurique, il suffit pour l'obtenir d'y ajouter un vingtième environ de son volume d'acide chlorhydrique concentré et de laisser le mélange au repos. Après vingt-quatre heures, l'acide cristallise en longs prismes transparents, à quatre faces, terminés par un sommet dièdre. — L'acide hippurique a été aussi trouvé dans le sang de bœuf par Verdeil et Dollfus (5).

La présence de l'*acide cynurétique* n'a été constatée que dans l'urine de chien et dans de très faibles proportions. — L'*acide formique* a été signalé dans l'urine humaine normale, mais en quantité très minime. — L'*acide lactique* ne paraît point exister à l'état normal, mais se développe seulement quand il survient un trouble notable des fonctions. La fermentation acide de l'urine, principalement de l'urine des herbivores, lui donne facilement naissance. — La *créatine* et la *créatinine*, substances excrémentitielles qui se forment dans le tissu musculaire et qui résultent de la désassimilation des principes organiques de ce tissu, sont des matières azotées qu'on rencontre aussi en faibles proportions dans le liquide urinaire.

Outre l'urée, l'acide urique, et les autres substances qui viennent d'être mentionnées, l'urine renferme encore un grand nombre de sels.

Les plus constants et les plus abondants sont les *chlorures de sodium* et *de potassium*. D'après Lehmann (6), un homme adulte en évacuerait par les urines environ 10gr,5 dans les vingt-quatre heures. L'exercice et surtout l'alimentation ont une influence considérable sur la quantité des chlorures excrétés. D'après

(1) *Ann. de chim. et de phys.*, t. XIII, p. 33.
(2) *Philos. Transact.*, 1810.
(3) *Ann. de chimie*, t. XXXVI, p. 258.
(4) *Études de chimie organique*. Lille, 1849, p. 91.
(5) *Comptes rendus de la Société de biologie*, 1850, t. II, p. 79.
(6) LEHMANN, *Précis de chimie physiologique*, p. 230.

moins variable, par un même individu, pendant des temps égaux. Du
'urine n'est pas la seule voie d'excrétion pour ces matières salines; on sait
sueur les contient aussi, pour la plupart, en assez forte proportion.
ine renferme encore des carbonates de soude, de chaux, de magnésie, et
phate ammoniaco-magnésien. Ces sels varient beaucoup dans leur quantité
suivant certaines conditions. — Selon Le Canu, les proportions de sels fixes
fermaient les urines rendues en vingt-quatre heures par des individus de
d'âge différents, ont varié d'une manière notable, chez onze individus,
,500 à 4gr,840. Ils ont aussi varié sensiblement dans les urines rendues
rentes fois, pendant des temps égaux, par un même individu. D'après le
auteur, l'urine des hommes, dans la force de l'âge, en renferme plus que
les femmes, des enfants et des vieillards. — Au dire de Le Canu, les sels
, loin d'être plus abondants dans les urines des vieillards, ainsi que l'avait
Fourcroy, seraient au contraire en plus grande quantité dans l'urine des
et des enfants.

ne trouve dans l'urine que des traces de silice et de fer. L'urine normale ren-
des lamelles d'épithélium, débris de la muqueuse urinaire, et en outre une
té plus ou moins abondante de mucus dont les globules sont en suspension
e liquide. On sait que la quantité de mucus augmente beaucoup dans le
e de la vessie, les affections de la prostate, etc.

xiste enfin dans l'urine des *matières* dites *extractives* dont la quantité est
riable et dont la nature reste à déterminer. — Il y a aussi des matières
tes comme l'*uroxanthine*, l'*uroglaucine*, l'*uroïdine*, et des traces de
res *grasses* dont on peut constater la présence à l'aide de l'éther sulfurique.

— Nous venons de passer en revue ou d'énumérer les parties constituantes
ine à l'état physiologique; mais souvent on rencontre aussi dans ce liquide

contre dans un grand nombre d'états morbides. Ce principe est excrété par le rein dans deux cas différents : ou bien le parenchyme de l'organe est altéré (maladie de Bright) ; ou bien, ce parenchyme est sain. La présence de l'albumine peut être liée à celle du pus ou du sang ; mais, en pareil cas, ces derniers liquides communiquent à l'urine des caractères particuliers.

Lorsque l'albumine existe seule dans le liquide urinaire, rien n'indique sa présence d'une manière positive, si l'on n'a recours à la chaleur ou à l'acide azotique, qui feront précipiter l'albumine, ou bien encore au *polarimètre albuminimètre* de A. Becquerel. Indépendamment de l'albumine, l'urine, dans la maladie de Bright, renferme encore de nombreux débris d'épithélium provenant des tubes urinifères.

L'urine peut devenir albumineuse dans un grand nombre de circonstances : quand il y a congestion des reins, dans quelques maladies aiguës fébriles, dans plusieurs maladies du cœur, les différentes hydropisies, et aussi, à l'état sain, dans les cas où la quantité d'albumine du sérum du sang se trouve tout à coup augmentée, comme l'ont vérifié plusieurs expérimentateurs sur eux-mêmes, après avoir ingéré un assez grand nombre d'œufs frais. — Le passage de l'albumine dans l'urine pendant les maladies serait dû, suivant Mialhe, à l'altération de ce principe par suite d'une plus grande quantité d'eau dans le sérum du sang. L'albumine, qui est ordinairement insoluble, non endosmotique, se transformerait par excès d'eau en albumine *caséiforme*, qui est soluble, non assimilable, et par conséquent rejetée avec les excrétions. — Enfin, le passage de l'albumine dans l'urine peut tenir à une lésion directe du système nerveux : après la lésion des pédoncules cérébraux, par exemple, Schiff (1) a reconnu, sur des lapins, que l'urine, qui avait primitivement une réaction alcaline, était devenue d'abord neutre, puis acide, et que de plus elle contenait de l'*albumine*. Depuis ces expériences de Schiff, j'ai fréquemment constaté le même phénomène après des lésions très diverses du système nerveux, et en particulier après la section intra-crânienne du nerf trijumeau : ce n'est là qu'une preuve, au milieu de tant d'autres, de l'influence du système nerveux sur les fonctions nutritives.

Le *sucre* ne se rencontre pas dans l'urine à l'état normal. Lehmann (2) pense néanmoins que le rein peut en séparer du sang, sans qu'il soit toujours possible de le constater chimiquement, parce que ce principe se détruit très rapidement dans l'urine. — Règle générale, d'après cet auteur, tant que le sang ne renferme pas 3 pour 100 de son résidu sec en sucre, celui-ci n'est pas éliminé par la sécrétion urinaire.

La présence du sucre dans l'urine caractérise la maladie connue sous le nom de *diabète*. L'alimentation a encore ici une grande influence sur la production du sucre : on peut, à son gré, rendre les animaux diabétiques en leur faisant manger une grande quantité d'aliments féculents ou sucrés. — L'urine qui contient du sucre est plus dense que l'urine normale, elle fermente spontanément, et la levûre de bière hâte beaucoup ce phénomène.

On sait que certaines lésions du système nerveux peuvent déterminer le passage du sucre dans l'urine, et déjà nous avons eu occasion de signaler particulièrement l'expérience de Cl. Bernard, dans laquelle, en piquant le plancher du quatrième

(1) *De vi motoria baseos encephali*, etc. (dissert. inaug.), p. 41. Bockenheimii, 1845.
(2) *Ouvr. cit.*, p. 237.

ventricule, il a pu rendre des animaux diabétiques à volonté. Nous n'avons pas à revenir ici sur cette intéressante expérience qui a été analysée précédemment.

On rencontre fréquemment du *sang* mélangé à l'urine et venu de différents points de l'appareil génito-urinaire. — L'urine prend alors une couleur plus ou moins foncée, quelquefois noirâtre, à cause de la quantité notable de sang qu'elle contient : dans ce dernier cas surtout, elle est sensiblement albumineuse et alcaline. Il est parfois nécessaire d'avoir recours au microscope, qui fait reconnaître les globules caractéristiques.

Il existe souvent aussi, dans l'urine, du *pus* seul ou mélangé avec une quantité plus ou moins considérable de *mucus*. — Ces produits reconnaissent pour cause les inflammations de la muqueuse urinaire (cystite, blennorrhagie, etc.). L'urine est alors louche, opaline et laisse un dépôt considérable au fond du vase ; une fois le dépôt formé, elle reste encore trouble.

A l'analyse des urines purulentes, on trouve un principe particulier, la *mucine*, les matières grasses et de l'albumine. Le microscope décèle la présence d'un grand nombre de globules particuliers.

On a beaucoup moins fréquemment l'occasion d'observer les urines dites *chyleuses*. Les matières grasses en excès qu'elles renferment dans ce cas leur donnent l'aspect d'une émulsion. Après un repos suffisant, il se forme à la surface du liquide urinaire une couche huileuse due à la condensation des globules graisseux.

Il n'est pas rare de rencontrer du *sperme* mélangé à l'urine, principalement dans la spermatorrhée. On voit alors se déposer, au fond du vase, un nuage muqueux, et l'on reconnaît facilement, à l'aide du microscope, les animalcules spermatiques qui, d'ailleurs, sont rapidement tués par le contact de l'urine.

Si l'urine peut renfermer des éléments anormaux, elle peut aussi être modifiée dans les proportions de ses principes constituants sous l'influence de différents états morbides. Ces modifications portent principalement sur l'*eau*, l'*urée*, l'*acide urique* ou sur les *sels*.

L'augmentation ou la diminution de l'*eau* détermine dans l'urine des changements de couleur et de densité qui sont loin souvent d'avoir quelque importance, attendu que la proportion des éléments solides tenus en dissolution dans l'eau peut alors rester la même. L'augmentation de l'eau est due le plus souvent à l'ingestion d'une grande quantité de ce liquide, qui est presque immédiatement rejeté par les reins. L'eau entraîne avec elle une proportion de principes un peu plus considérable qu'à l'état normal. — Dans la polydipsie, le diabète et différents états nerveux, la quantité d'eau augmente quelquefois d'une manière très considérable : l'urine est alors claire, transparente, offre un reflet plutôt vert que jaune ; elle est peu odorante. — Au contraire, l'eau diminue sous l'influence d'un régime excitant, d'une fatigue violente ou de sueurs abondantes ; les fièvres, certaines maladies du cœur et du poumon, produisent le même résultat. L'urine est alors épaisse, rougeâtre ou rouge-brique ; elle exhale une odeur forte *sui generis*.

Nous avons vu que l'*urée* est un produit de la combustion des principes azotés de l'organisme par l'oxygène atmosphérique, et que cette combustion se fait dans l'intimité des tissus. Les variations dans la proportion de l'urée indiquent donc *exactement le degré d'activité de la décomposition* de ces tissus, et sont intime-

ment liées aux phénomènes de nutrition. — Suivant Becquerel et Rodier (1), la moyenne de l'urée rendue par les urines, en vingt-quatre heures, varie entre 15 et 18 grammes. La plus ou moins grande proportion d'eau dans l'urine n'a que peu d'influence sur la proportion d'urée éliminée. La plupart des états pathologiques ont pour effet de diminuer la quantité de ce principe constituant de l'urine : telles sont notamment les fièvres, les phlegmasies, la chlorose et l'anémie. — On sait que la diminution de l'urée est un des symptômes du diabète ; la moyenne de l'urée expulsée dans les vingt-quatre heures peut alors tomber à 4 grammes.

L'urine de l'homme, avons-nous dit, est normalement acide ; lorsqu'elle devient alcaline, ce changement est dû à la transformation de l'urée en carbonate d'ammoniaque.

Après l'urée, le principe le plus important de l'urine est l'*acide urique ;* nous savons déjà qu'il provient d'une combustion moins avancée des matériaux azotés par l'oxygène de l'air. Si l'insuffisance de combustion est entretenue par un vice organique, vice qu'il est d'ailleurs impossible d'apprécier, l'acide urique l'emporte en proportion sur tous les autres principes de l'urine : cet état a été désigné sous le nom de *diathèse urique.*

La quantité d'acide urique augmente sous l'influence d'une nourriture abondante et excitante, et en général de toutes les causes qui font introduire dans l'économie une proportion d'azote plus considérable qu'à l'état normal, de telle sorte que l'oxygène soit insuffisant pour en opérer la combustion. L'acide urique peut alors arriver aux proportions de 2 et 3 grammes dans les vingt-quatre heures par 1000 grammes d'urine : c'est dans ces cas qu'il se dépose en différents points de l'économie pour produire la gravelle et la goutte. — Une autre série de causes peut aussi augmenter la proportion d'acide urique : cela s'observe quand les phénomènes intimes de composition et de décomposition de nos tissus sont languissants, comme dans les fièvres, certaines maladies du cœur et du foie, et surtout la chlorose et l'anémie. La combustion étant alors trop incomplète, l'azote ne subit qu'un premier degré de transformation, d'où résulte l'acide urique.

Les *sels inorganiques* de l'urine peuvent subir des variations assez grandes. Excepté les sulfates, qui ne paraissent pas diminuer notablement, on rencontre les autres sels en moindre proportion dans les urines pathologiques : A. Becquerel a vu le chiffre de variation osciller entre 1 et 8. Il est d'ailleurs fort difficile d'arriver à des résultats exacts, car il faut tenir compte de la plus ou moins grande quantité d'eau dans laquelle sont délayés les sels, et bien distinguer la diminution absolue de la diminution relative des éléments inorganiques de l'urine.

En résumé, malgré tout le soin apporté dans ces dernières années à l'analyse des urines dans divers états pathologiques, celle-ci n'a pu servir que très secondairement au diagnostic des maladies : nous ne parlons pas ici de la présence anormale du sucre ou de l'albumine, mais seulement des changements survenus dans les proportions des *principes normaux* de l'urine. En effet, l'état de la respiration, la qualité et la quantité des boissons ou des aliments, la transpiration, etc., sont susceptibles de faire subir à l'urine du même individu des changements à de très courts intervalles, de telle sorte qu'il est toujours très difficile de faire la part des modifications imprimées par l'état morbide lui-même.

(1) *Ouvr. cit.*, p. 278.

IV. — *L'alimentation* influe notablement sur la sécrétion urinaire.

Les caractères généraux de toute l'urine expulsée dans les vingt-quatre heures nous sont déjà connus. Il nous faut maintenant signaler l'influence que peuvent exercer sur ce liquide les boissons et les aliments.

Chacun sait que l'eau ingérée en assez grande abondance est presque immédiatement éliminée par les reins : l'urine est alors pâle, claire, et moins dense qu'auparavant. Le passage rapide de l'eau par les reins entraîne une plus grande quantité de sels inorganiques, mais il y a une diminution relative considérable de l'urée et de l'acide urique (A. Becquerel).

L'urine des carnivores, avons-nous dit, est acide, tandis que celle des herbivores est alcaline. Toutefois, si l'on soumet un herbivore à un régime soutenu plus azoté que de coutume, ou bien à l'abstinence (ce qui revient au même, puisque, dans ce dernier cas, l'animal vit aux dépens de sa propre substance), on constate que le liquide urinaire présente bientôt une réaction acide comme celui des carnassiers. En pareil cas, l'urine d'herbivores devient beaucoup plus riche en urée, et l'acide hippurique y est remplacé par l'acide urique. — Ayant fait usage, pendant une huitaine de jours, d'une alimentation exclusivement animale (viande et œufs), Lehmann (1) trouva jusqu'à 53gr,19 d'urée dans son urine rendue dans les dernières vingt-quatre heures; puis, pendant une autre huitaine, s'étant mis à un régime exclusivement végétal, il ne trouva plus dans l'urine des dernières vingt-quatre heures que 15gr,41 d'urée, au lieu de 28 grammes environ qu'expulse ordinairement par ses reins l'homme adulte faisant usage d'une alimentation mixte. — Ajoutons que, si la nourriture ingérée fournit, en grande partie, les matériaux de la sécrétion urinaire, il en est aussi qui reconnaissent une origine différente : ainsi, chez l'homme et les animaux privés pendant un temps assez long de toutes espèces d'aliments, la sécrétion de l'urée continuant à se faire, il est manifeste que ce produit ne peut provenir alors que du travail de décomposition des tissus azotés de l'économie elle-même.

D'après les expériences de Ch. Chossat (2), la sécrétion solide de l'urine serait à son maximum d'augmentation entre la neuvième et la dix-septième heure après l'ingestion des aliments. Ceux-ci, dit cet expérimentateur, paraissent exercer, par leur *quantité*, une modification sur la répartition de la sécrétion : plus ils sont copieux, plus ils rendent abondante la sécrétion solide dans les périodes éloignées de l'ingestion ; et, en effet, ajoute-t-il, on conçoit sans peine comment une nourriture plus abondante peut fournir plus longtemps des matériaux à éliminer. — La *nature* des aliments a paru à Chossat amener un changement en sens inverse du précédent : ainsi « un régime plus animalisé augmenterait la sécrétion proportionnellement davantage dans les périodes rapprochées de l'ingestion. » — « Il existe, ajoute encore cet expérimentateur, entre la digestion de l'aliment et la sécrétion de la partie solide de l'urine, une relation tout à fait intime et immédiate ; et, si l'on se rappelle que c'est aux environs de la troisième et de la quatrième heure que l'aliment transformé en chyle commence à couler dans les vaisseaux sanguins, on verra que constamment, peu après l'arrivée du chyle dans le sang, la sécrétion solide de l'urine commence à augmenter. » De là Chossat conclut

(1) *Loc. cit.*
(2) *Journal de physiol. expérim.* Paris, 1825, t. V, p. 145 et suiv.

que l'on ne peut se refuser à admettre que l'un de ces phénomènes soit la cause de l'autre, et que le chyle soit la véritable source de l'augmentation de sécrétion solide qui s'observe dans l'urine après la digestion.

V. — Les reins représentent des voies éliminatoires, non-seulement pour certains éléments des substances alimentaires ou des tissus mêmes de l'organisme, mais encore pour des substances qui, lui étant étrangères, ont pu être introduites accidentellement : parmi ces dernières, il en est qui sont rejetées par les urines sans avoir été modifiées, et d'autres qui subissent d'abord des modifications plus ou moins profondes. Il est aussi des substances dont la présence n'a jamais pu être constatée dans le liquide urinaire.

Wöhler (1) a fait de nombreuses expériences dans le but de déterminer quelles sont les substances qui, introduites dans le corps de l'homme ou des animaux, soit par la bouche, soit par une autre voie, passent dans les urines.

D'après cet observateur, les substances qui passent dans les urines, sans changer d'état, sont : le carbonate, le chlorate, le nitrate de potasse, l'hydro-protoferrocyanate de potasse, le sous-borate de soude, l'hydrochlorate de baryte, le silicate de potasse, le tartrate de nickel et de potasse ; beaucoup de principes colorants, comme celui de l'indigo en dissolution dans l'acide sulfurique, celui de la gomme-gutte, de la rhubarbe, de la garance, du bois de Campêche, des betteraves, des baies d'airelle, des cerises noires, etc. — On retrouve aussi dans l'urine certains principes odorants (mais en partie avec une modification de l'odeur primitive), comme l'huile essentielle de térébenthine, le principe odorant de la valériane, de l'asa fœtida, de l'ail, etc.

On retrouve encore dans les urines, mais à l'état décomposé, les substances suivantes : l'hydro-perferrocyanate de potasse transformé en hydro-protoferrocyanate ; les combinaisons de potasse et de soude avec les acides tartrique, malique et acétique, sous forme de carbonates alcalins, et l'hydrosulfate de potasse qui se convertit en majeure partie en sulfate de potasse.

Les substances qui forment de nouvelles combinaisons avec certaines matières du corps animal, et qui sont sécrétées à cet état par les reins, sont : le soufre, qui passe dans l'urine comme acide sulfurique et hydrosulfurique ; l'iode, qui est évacué sous la forme d'un hydriodate ; les acides oxalique, gallique, succinique et benzoïque, que l'on retrouve dans les urines combinés avec un alcali.

Quant aux substances qui ne passent point dans l'urine, ce sont, d'après Wöhler : le fer, le plomb, l'alcool, l'éther sulfurique, le camphre, l'huile animale de Dippel, le musc et les principes colorants de la cochenille, du tournesol, du vert végétal et de l'alcanna. Cet expérimentateur suppose néanmoins que le fer et le plomb peuvent passer dans l'urine, mais en quantité si faible, qu'on ne saurait y démontrer leur présence. Il est prouvé aujourd'hui que le fer passe dans dans l'urine lorsqu'il a été donné à l'état métallique, et sous forme de carbonate ou de sulfate ; il en est de même du plomb, quand il a été administré combiné avec les acides phosphorique et acétique.

Wöhler, qui a cherché à expliquer la manière différente dont se comportent

(1) TIEDEMANN et TREVIRANUS, *Zeitschrift für Physiologie*, t. I, 1824. — Le travail si remarquable de WOELHER *sur le passage des substances dans l'urine* a été traduit en français et inséré dans le *Journal des progrès des sciences et institutions médicales*, t. I, p. 41, et t. II, p. 99, année 1827.

les diverses substances avec la fonction rénale, croit pouvoir conclure de ses expériences que « parmi les substances introduites dans l'économie animale, quel que soit d'ailleurs le mode d'introduction, toutes celles qui sont solubles dans l'eau ou les humeurs du corps, qui ne sont point assimilables, qui ne forment pas de combinaisons insolubles avec les principes contenus dans les humeurs et les organes, qui ne sont pas détruites par l'acte de la respiration ou par d'autres actes chimiques se passant dans l'organisme, qui ne sont pas astringentes, enfin celles qui ne sont pas assez volatiles pour être évacuées par la transpiration cutanée ou la perspiration pulmonaire, peuvent passer dans l'urine. »

Les expériences de G. A. Stehberger (1) peuvent être regardées comme le complément des précédentes : cet auteur s'est appliqué à déterminer le temps que les substances introduites dans l'estomac, ou appliquées à la peau, mettent à se montrer dans l'urine, et celui durant lequel on peut y constater leur présence. Ces expériences ont été faites sur un garçon de treize ans, atteint d'une inversion de la vessie, sujet très favorable parce que l'urine, qui coulait sans cesse par les orifices découverts des uretères, pouvait être recueillie et examinée à chaque instant.

Des substances qui avaient été prises par la bouche, Stehberger retrouva les suivantes dans l'urine : les principes colorants de la rhubarbe, des guignes (cerises noires), de la garance, des baies d'airelle, du bois de Campêche, de l'indigo, de la casse ; l'acide gallique, le principe astringent du raisin d'ours, le rob de sureau, le cyanure de potassium et de fer. — Quant aux substances ingérées dans l'estomac, qu'il ne put découvrir dans l'urine, ce furent : le principe colorant du tournesol, le principe amer du quassia, la teinture martiale de Bestucheff et l'acétate de fer. — D'après les expériences de Tiedemann et Gmelin (2), le principe colorant du tournesol serait détruit dans l'estomac et le canal intestinal.

Parmi les substances employées à l'extérieur (en bain, fomentation et friction sur la peau), Stehberger ne retrouva dans l'urine que l'essence de térébenthine et l'acétate de potasse. — Il n'y découvrit ni la garance, ni la rhubarbe, bien que Bradner-Stuart (3) et Sewell (4) eussent affirmé en avoir trouvé les principes colorants dans leurs propres urines, après être demeurés un certain temps dans un bain renfermant une décoction de ces substances.

Il est à remarquer que Stehberger n'a pu constater le passage du fer dans l'urine, ce qui ne s'accorde point avec l'assertion d'autres expérimentateurs : en effet, Kramer (5), Morin (6), Menghini (7), Tiedemann et Gmelin (8) assurent avoir vu le contraire.

Quant au temps que les substances introduites par la bouche mirent à apparaître dans l'urine, il varia entre 15 et 75 minutes. La garance apparut la première, au bout de 15 minutes, et le rob de sureau après 75 minutes. L'essence de

(1) *Journal complément. du Dictionn. des sciences médic.*, 1826, t. XXV, p. 321.
(2) *Expér. sur les voies par lesquelles diverses substances passent de l'estomac et du canal intestinal dans l'urine*, trad. franç. de Heller.
(3) *New-York Medic. Repertory*, cah. III, etc.
(4) *New-England Journal of Medicine*, t. II. Boston, 1813.
(5) *Loc. cit.*
(6) *Hist. de l'Acad. des sciences de Paris*, p. 208, ann. 1702.
(7) *Comment. Bonon.*, t. II, part. III, p. 478.
(8) *Loc. cit.*

térébenthine inspirée dénota sa présence dans l'urine, après un quart d'heure, par l'odeur de violette, tandis qu'appliquée en friction sur la peau elle ne se montra dans ce liquide qu'au bout de 25 minutes. — Stehberger reconnut encore, à l'égard de toutes les substances introduites par la bouche et qui passèrent dans l'urine, que leur excrétion par cette dernière offrait un point culminant qui varia de 1 à 4 heures.

La disparition totale des diverses substances dans l'urine eut lieu aussi à des époques différentes : ainsi le cyanure de fer et de potassium avait disparu après 3 heures 3/4, la pulpe de casse seulement au bout de 24 heures, etc.

Les sels à base alcaline, dit Kramer (1), dont font usage l'homme et les animaux, passent avec facilité dans le sang, l'urine et même (comme par exemple l'iodure de potassium) dans la sueur et la salive. — Le sang et l'urine chargés de sels alcalins s'en dépouillent très rapidement. — Les sels de baryte y passent en très petite quantité. — Quelques sels métalliques, ceux de cuivre notamment, peuvent encore être découverts huit ou dix jours après qu'on a entièrement suspendu l'usage interne de ces préparations. Le fer, suivant cet auteur, passerait assez rapidement dans l'urine, lorsqu'il a été administré par la bouche. — Enfin rappelons que d'une expérience de Kramer il résulte qu'après un traitement de cinquante jours par l'iodure de potassium, sept jours suffirent à l'élimination du composé, de sorte qu'après ce laps de temps, 385 grammes d'urine en contenaient moins de 1/50000 de gramme.

Dans le but de constater la rapidité avec laquelle se fait, par les reins, l'excrétion de certaines substances, Hering (2) a injecté du prussiate de potasse dans les veines de plusieurs animaux, et surtout des chevaux. — De ses expériences, il conclut que, « de toutes les glandes, les reins ont la part la plus grande et la plus précise à l'excrétion des substances étrangères introduites dans la circulation ; que constamment ces organes ont réagi avec les sels de fer, ou seulement dans leur substance corticale, ou en même temps dans leur substance tubuleuse, et souvent déjà dans le bassinet, même quand le prussiate de potasse n'existait que depuis *une minute* dans le corps. »

Dans la dix-septième expérience (3), sur un cheval, dans la veine jugulaire duquel on avait injecté 30 grammes de dissolution de prussiate de potasse, les réactions ne décelèrent bien manifestement la présence de ce sel que dans les substances corticale et médullaire des reins eux-mêmes (l'autopsie avait été faite 5 minutes après l'injection). Ce fait indique bien, dit Hering, que c'est dans le système capillaire des reins que commence la séparation du prussiate de potasse et du sang.

VI. — En étudiant isolément les principes constituants de l'urine, nous avons vu que la plupart étaient primitivement formés dans le sang, et que dès lors on avait été conduit à regarder le rein comme ne remplissant guère, à leur égard, que le rôle d'une sorte de filtre. Les vaisseaux de cet organe ont paru être admi-

(1) *Sur le passage des sels dans le sang et les matières sécrétées* (*Archiv. gén. de méd.*, 4e série, t. VIII, 1845, p. 214 ; et *Giornale dell'Instituto Lombardo*, 1842).

(2) *Journal complementaire du Dictionnaire des sciences médicales*, t. XXXI, p. 315, et t. XXXII, p. 13 et suiv., 1828.

(3) *Loc. cit.*

rablement disposés à cet effet : l'artère rénale, très volumineuse et très courte, se divise en quelques gros troncs qui parviennent tout de suite à la substance corticale à travers les colonnes de Bertin, et là se partage en un nombre infini d'artérioles qui, se contournant pour former les glomérules de Malpighi, se rendent ensuite dans un réseau de capillaires extrêmement ténu. Il résulte de cette disposition que le sang, soumis à une pression considérable, est lancé fortement dans le rein, et qu'il arrive en grande quantité à la substance corticale. Ici, il rencontre un obstacle puissant à son cours par suite des inflexions des divisions des artères et du calibre des vaisseaux qui servent à la circulation de retour. — Il y a en effet dans le rein une résistance réelle opposée à la circulation veineuse ; or, l'expérience de tous les jours a démontré que cette résistance est la cause la plus puissante des transsudations du sérum du sang dans le tissu cellulaire ou dans les cavités closes pour former les hydropisies. Il s'établit donc dans le rein un travail d'exosmose et d'endosmose qui tend à rendre compte du passage de la partie aqueuse du sang dans les canalicules urinifères.

Mais, là ne se borne pas le *mécanisme de la sécrétion urinaire.* Où se fait cette exsudation aqueuse ? Est-ce dans le système capillaire ou dans le glomérule de Malpighi ? L'eau, d'une part, et les parties réellement constituantes de l'urine, d'autre part, transsudent-elles à travers les mêmes points ou à travers des points différents du parenchyme rénal ? — Ces questions ont été différemment résolues par W. Bowman, G. Valentin, Isaacs, etc.

Bowman (1), dont les opinions sur la structure du rein et la sécrétion urinaire sont assez généralement reçues, admet que les veines sortent du glomérule par des radicules analogues à celles de la veine porte dans les intestins, et se rendent ensuite dans le plexus veineux ; en sorte qu'aux yeux de cet auteur, il y a dans le rein un véritable système porte lié intimement à la sécrétion rénale. D'après Bowman, le glomérule n'est recouvert par aucune cellule et sert uniquement à séparer l'eau du sang ; pour l'urée, l'acide urique et les sels de l'urine, portés dans le plexus veineux, ils seraient extraits de la masse sanguine par les cellules des canalicules urinifères, cellules douées de propriété spéciale.

Cette opinion a été combattue par Isaacs, qui déclare ne pouvoir admettre le système porte rénal de Bowman, attendu qu'il n'a jamais vu les veines offrir la disposition indiquée par cet observateur. De plus, il a constamment trouvé le glomérule tapissé à sa surface par des cellules particulières qui ont déjà fixé notre attention. Comme le fait observer Isaacs, l'exsudation de l'eau du sang, à travers les membranes animales, est un fait commun et qui ne saurait exiger une disposition spéciale; aussi est-il probable que l'agencement si complexe du glomérule a une autre destination. D'ailleurs les urines des serpents sont demi-solides et composées surtout d'acide urique: et néanmoins les reins de ces animaux contiennent un grand nombre de glomérules de Malpighi qui ne peuvent avoir pour usage d'extraire l'eau du sang.

Ajoutons qu'Isaacs a fait un grand nombre d'expériences avec des matières colorantes, l'indigo, la garance, etc.; et toutes s'accordent à démontrer d'une manière évidente que les précédents glomérules peuvent séparer du sang les matières colorantes absorbées par la muqueuse gastro-intestinale.

Ainsi, les principaux éléments de l'urine existent tout formés dans le sang;

(1) *Mém. et Rec. cit.*, p. 598.

c'est là un fait capital sur lequel on est généralement d'accord. Ces éléments sont portés dans chaque glomérule et en grande partie extraits par la couche de cellules à noyau qui le recouvre. Les substances colorantes sont également séparées par les glomérules. Mais, si l'on considère que les canalicules urinifères sont eux-mêmes tapissés par des cellules spéciales, on tendra volontiers à admettre que la séparation des éléments de l'urine qui se fait surtout par l'entremise du glomérule, continue de s'opérer dans les tubes urinifères. — En d'autres termes, les cellules du glomérule et les cellules des tubes ne paraissent point destinées, d'une manière exclusive, les unes à séparer l'*eau* du sang, les autres les *principes constituants* de l'urine : l'eau est séparée du sang par exosmose dans le réseau capillaire, et la séparation de l'urée, des sels, des matières colorantes, etc., qui a commencé à la surface du glomérule, paraît se continuer dans l'intérieur des canalicules urinifères.

La sécrétion de l'urine est *continue*, comme le démontre si bien l'inspection directe dans les cas d'extroversion de vessie observés chez l'homme. L'urine suinte donc par les innombrables orifices des pyramides de Malpighi, arrive dans le bassinet, puis parvient goutte à goutte par les uretères dans la vessie, où elle s'accumule. La contractilité des uretères aide à surmonter la résistance qui résulte du trajet même de ces canaux, trajet en partie oblique entre les tuniques vésicales. Une fois parvenue dans la vessie, l'urine distend peu à peu ce réservoir et ne peut plus refluer dans les uretères à cause de l'obliquité de leur insertion et aussi de cette distension qui contribue à maintenir appliquées les unes contre les autres les parois de la portion des uretères qui rampe entre les membranes de la vessie. Enfin, quand celle-ci a atteint à peu près le terme de sa distension, et souvent même auparavant, le besoin d'uriner se fait sentir, et bientôt, pour déterminer l'expulsion de l'urine, entrent en contraction, le diaphragme, les muscles abdominaux, ceux du périnée, et les fibres musculaires du corps de la vessie elle-même, pendant que le sphincter du col vésical se relâche. Il y a donc là un véritable effort, ayant de l'analogie avec celui qui a lieu pour expulser les matières fécales, et entraînant, chez beaucoup d'animaux, pendant qu'il s'opère, l'impossibilité d'exercices musculaires un peu pénibles, la suspension de la course et même de la marche.

VII. — D'après tout ce qui précède, il est manifeste que la sécrétion de l'urine, comme celle de la bile, sert à débarrasser le sang des matériaux en excès et par conséquent susceptibles de devenir nuisibles à l'organisme. Parmi ces matériaux, les uns, très riches en carbone, s'associent à la soude et s'échappent sous forme de bile, tandis que les autres, très azotés, donnent l'urée, l'acide urique et l'ammoniaque de l'urine. La sécrétion urinaire, en particulier, a pour office d'éliminer une grande partie de l'eau superflue introduite avec les aliments ou les boissons, beaucoup de substances étrangères que l'absorption a fait pénétrer dans l'économie, et enfin les produits azotés et salins résultant des métamorphoses des éléments du sang et des tissus. En un mot, les reins sont des organes qui contribuent à conserver le sang dans l'intégrité de composition normale et nécessaire au maintien de la nutrition et de la vie.

VIII. — Quant à ce qui concerne l'*influence du système nerveux sur la sécré-*

tion urinaire, J. Müller et Peipers (1) ont constaté que cette sécrétion pouvait s'interrompre, et que le tissu même des reins ne manquait jamais de se ramollir, après la mortification des nerfs rénaux. D'autres fois, l'urine a continué de couler, mais elle était profondément modifiée dans sa composition.

L'influence de la moelle épinière sur la sécrétion de l'urine est admise par les uns, contestée par les autres. — Après la section de la moelle épinière au voisinage des vertebres dorsales et lombaires, après sa destruction à partir de la dernière vertèbre du cou, Krimer (2) a reconnu que « l'urine devient claire comme de l'eau, et contient beaucoup de sels et d'acides, mais peu d'extractif ». L'ablation du cerveau et du cervelet, ajoute le même auteur, n'arrête pas la sécrétion urinaire, elle ne fait que changer légèrement les caractères de l'urine. Mais Brodie (3) dit avoir vu cette sécrétion se supprimer instantanément chez les animaux auxquels il avait enlevé le cerveau; tandis que Gamage (4) affirme, avec Krimer, qu'il n'en est point ainsi. L'effet observé par Brodie a lieu, selon Krimer, non pas quand on enlève le cerveau, mais lorsqu'on détruit la moelle allongée et la portion cervicale de la moelle épinière, destruction qui nécessite l'entretien de la respiration par des moyens artificiels.

Brodie (5), Home (6) et Hunkel (7) ont observé que l'urine contenait de l'ammoniaque libre après les lésions traumatiques ou les commotions de la moelle épinière. Naveau (8) prétend au contraire l'avoir trouvée fortement acide, chez des chiens, après la section de cet organe à la région dorsale ou lombaire.

Dans les expériences que j'ai faites à ce sujet, l'urine, sans avoir été très acide, a toujours offert une acidité appréciable chez les chiens dont j'avais détruit la moelle dorsale (*) : il n'est pas permis de croire que cette urine préexistait dans la vessie, car la frayeur et la douleur avaient fait uriner les animaux, en grande abondance, avant et pendant l'opération. Ces résultats s'accordent avec ceux qui ont été obtenus plus récemment par Ségalas (9).

Mais je m'étais bien gardé de conclure, comme l'a fait cet expérimentateur, que l'influence de la moelle est nulle sur la sécrétion urinaire : car, dans le cours de mes vivisections, de nombreuses observations m'avaient démontré que les viscères, qui empruntent leurs filets nerveux au grand sympathique, sont loin d'être paralysés immédiatement par la section de ces filets, et que même leur action persiste bien au delà de la durée des expériences dans lesquelles Ségalas avait d'abord détruit la moelle (10). Je me crois donc autorisé à soutenir qu'après une pareille lésion, les nerfs, aboutissant à ces différents organes et aux reins en particulier, ne font que dépenser peu à peu la *force nerveuse* primitivement émanée surtout de

(1) PEIPERS, *De nervorum in secretiones actione*. Berlin, 1834.

(2) *Physiol. Untersuchungen*, Leipzig, 1820, et dans *Journ. complém. du Dict. des sc. méd.*, LXXV, p. 207.

(3) *Lectures on the Diseases of Urinary Organs* London, 1832, p. 161.

(4) *Rec. cit.*

(5) *Ouvr. cit.*

(6) Cit. par Burdach, *Physiol.*, trad. franç., t. VIII, p. 205.

(7) *Journ. des connaiss. méd.-chirurg.*, août 1831, p. 376.

(8) *Experimenta quædam circa urinæ secretionem*, p. 21.

(*) SCHIFF (*Untersuch. über Diabetes ; Soc. roy. des sc. du Danemark*, 1857) a constaté qu'en pareil cas l'urine contenait de l'albumine et surtout de la glycose. Quelquefois la matière colorante du sang a passé dans l'urine.

(9) *Des lésions traumatiques de la moelle de l'épine, considérées sous le rapport de leur influence sur les fonctions des organes génito-urinaires* (Paris, 1844). Mém. lu à l'Acad. de méd. le 27 août et le 23 septembre.

(10) *Durée de ces expériences : 15, 20, 30 minutes.*

la moelle, centre principal, sinon exclusif, de sa production ; d'où la persistance de la sécrétion rénale, aussi bien que celle des mouvements du cœur, du canal intestinal, des cornes utérines, etc.

On sait que, quand on se borne à couper la moelle épinière, chaque segment peut continuer d'agir comme centre spécial d'innervation. Aussi aurais-je passé sous silence, comme insignifiantes dans la question, celles des expériences de Ségalas dans lesquelles on a opéré cette sorte de lésion ou la destruction partielle de la moelle, si, même de ces expériences, il ne résultait que l'urée, les phosphates, les sulfates, l'acide urique et le mucus vésical ont subi des changements dans leur quantité relative. Dès lors, on ne s'explique guère la conclusion de cet auteur, c'est-à-dire que les lésions traumatiques de la moelle ne troublent point la composition de l'urine.

Cette conclusion, fondée surtout sur des résultats de vivisections, qui le plus souvent ont été observés dans un laps de temps trop court, ne s'accorde point avec celle de Brodie, Home, Hunkel, Stanley (1), etc., qui ont recueilli des faits sur l'homme malade. — Chez un malade cité par le dernier de ces observateurs, et affecté d'une fracture avec déplacement de la cinquième et de la sixième vertèbre dorsale, avec division complète de la moelle en ce point, l'urine devint très abondante et fortement ammoniacale au cinquième jour : elle conserva ces propriétés jusqu'à la mort du blessé, qui eut lieu le vingt-sixième jour. — Un autre cas analogue s'est encore offert à Stanley. Il y avait chez un individu fracture et luxation du rachis, intéressant la huitième et la neuvième vertèbre dorsale, et de plus paraplégie. Le quatrième jour, l'urine prit une odeur fortement ammoniacale, et l'analyse chimique y démontra en effet la présence d'une assez grande proportion d'ammoniaque.

Il est vrai qu'en pareil cas on avait supposé que l'urine ne devenait alcaline que dans la vessie, par suite de la paralysie de cet organe : mais des observations de Smith (2) tendent à prouver que ce liquide est déjà alcalin avant d'arriver dans son réservoir. Toutefois il ne faudrait pas nier que l'alcalinité ne pût être augmentée par un séjour trop prolongé de l'urine dans la vessie et par le catarrhe que ce séjour y aurait développé.

Bellingeri (3) a constaté, sur le mouton, que l'inflammation de la moelle et de ses membranes est fréquemment accompagnée de l'inflammation du péritoine et des *reins*, qu'alors l'urine devient trouble et ressemble au sérum du lait coagulé. Réciproquement, Stanley dit avoir vu l'altération du rein déterminer consécutivement des affections de la moelle épinière. Il importe d'ajouter, pour démontrer les relations intimes qui existent entre ces deux organes, que, selon la remarque de Dupuytren (4), la paraplégie est de toutes les maladies celle dans laquelle les sondes fixées dans la vessie se recouvrent le plus souvent et le plus promptement d'incrustations salines (*).

(1) *Du rapport qui existe entre l'inflammation des reins et les désordres fonctionnels de la moelle épinière et de ses nerfs* (*Arch. génér. de médec.*, 2e série, t. V, p. 101, 102, trad. de Richelot, 1834).

(2) *Medical Gazette*. London, févr. 1832.

(3) *Annali univers. di med.*, fascicol. 92, 93, août et sept. 1824.

(4) *Leçons orales*, 1832.

(*) SÉGALAS (*Mém. cit.*) croit que la tendance que l'urine montre à former des dépôts autour des sondes tient, non pas à une altération de ce liquide, qui serait la conséquence immédiate de la lésion de la moelle, mais bien à l'inflammation catarrhale de la vessie, qui vient tôt ou tard compliquer cette lésion.

Nous avons déjà eu occasion de signaler certaines lésions directes du système rveux qui peuvent déterminer le passage de l'albumine ou du sucre dans les ines ; il n'y a point lieu d'y revenir.

SÉCRÉTION DE LA SUEUR.

I. — La peau, en même temps qu'elle recueille les impressions tactiles, remplit autre rôle des plus importants : celui de servir d'émonctoire à une *partie* des sides et des gaz qui doivent être rejetés au dehors, comme produits ultimes métamorphoses de la nutrition ; elle concourt ainsi à la dépuration du sang et maintien de l'équilibre de la température du corps.

Dans la constitution intime de la peau figurent des organes glandulaires, pour si dire, sans nombre : d'une part, les glandes *sudorifères* et les glandes *cérumeuses*, qui paraissent ne différer entre elles que par la nature du liquide sécrété, d'autre part, les glandes *sébacées*. Pour l'instant, nous n'avons à nous occuper e des premières.

Les *glandes sudorifères*, mentionnées d'abord par Nicolas Sténon, dès 1683, rent admises par Malpighi, Boerhaave, Duverney, Winslow, etc.; mais elles ne evinrent que beaucoup plus tard l'objet d'études approfondies.

Eichhorn (1), le premier, en 1826, publia sur ce sujet un travail considérable. ivant lui, pour observer les conduits sudoripares, il faut en faire l'examen rec une forte loupe, pendant la saison chaude, alors que la sueur sort en abonnce par les orifices externes de ces conduits. A ce moment, vient-on à essuyer e tégument recouvert par la sueur, on voit immédiatement sourdre une nouvelle antité de liquide qui arrive à l'extérieur au niveau de petits orifices infundibuliformes. C'est surtout à la surface palmaire du bout des doigts que ces observations peuvent être faites assez facilement. — Eichhorn plaçait ces orifices au sommet des éminences qui séparent les sillons que l'on aperçoit à l'extrémité des doigts : il commettait une erreur, car ces éminences sont formées par les papilles, et c'est dans le sillon intermédiaire à deux rangées de papilles que les orifices des canaux sudoripares viennent aboutir.

Cet auteur avait bien aperçu ces derniers canaux, mais il n'avait pu voir les petites glandes auxquelles ils font suite. — La découverte de celles-ci fut annoncée presque simultanément, en 1834, par Purkinje et Wendt (2), par Breschet et Roussel de Vauzème (3). Gurlt (4) fut le premier à donner une bonne représentation de ces glandes, qui, depuis lors, éveillèrent l'attention d'un grand nombre d'autres observateurs.

Les glandes sudorifères, qui sont constituées par un canal délié et plus ou moins contourné à son origine, se retrouvent sur toute l'étendue de la peau, à l'exception de points peu nombreux. A la paume de la main et à la plante des pieds, elles forment des séries régulières ; partout ailleurs elles sont disséminées moins régulièrement.

(1) MECKEL'S *Archiv*, etc., 1826, n° 3, p. 305. — *Journal des progrès des sciences et institutions médicales*, t. III, 1827, p. 88 et suiv., et t. IV, p. 58.
(2) MÜLLER'S *Archiv*, 1834, p. 280.
(3) *Ann. des sc. nat.*, 1834, p. 167 et 321.
(4) MÜLLER'S *Archiv*, 1835, p. 390 et suiv.

Chacune de ces glandes offre : 1° une partie sécrétante, ou *glomérule glandulaire ;* 2° un conduit excréteur.

Le *glomérule* est en général logé plus ou moins profondément dans les mailles de la partie réticulaire du derme, où il est entouré de petits lobules de graisse et d'un tissu conjonctif lâche, à côté ou au-dessous des follicules pileux. « Rarement, dit Kölliker (1), on rencontre des glomérules sudoripares dans le tissu cellulaire sous-cutané, ou sur sa limite, si ce n'est dans l'aisselle ; cela arrive néanmoins aussi dans l'aréole, aux paupières, au pénis et au scrotum, dans la paume de la main et à la plante du pied. » Chaque glomérule est constitué par un tube uniformément calibré, roulé en peloton et terminé en cæcum. Suivant Kölliker, dans les glandes de l'aisselle, de petits culs-de-sac latéraux viendraient aboutir au tube principal. — Quant au *conduit excréteur*, il se dirige de la face profonde à la face libre de la peau ; il est rectiligne dans les points où la peau est mince, et décrit un trajet flexueux quand cette membrane et surtout sa couche épidermique sont très épaisses.

Le volume des glandes sudorifères varie : dans le creux de l'aisselle notamment, le volume du glomérule et le diamètre du tube sont deux ou trois fois plus considérables que dans le reste du corps (2). — La structure de ces dernières glandes est analogue à celle des glandes sudoripares ordinaires : toutefois, tandis que celles-ci ne présentent que deux couches, une externe fibreuse, et une interne que Virchow a isolée et qui est constituée par une membrane propre tapissée de cellules polygonales, on trouve en plus, dans les glandes de l'aisselle, une couche de fibres musculaires dirigées longitudinalement. Ces fibres musculaires se retrouvent, il est vrai, dans les glandes de quelques autres régions, spécialement dans celles qui sont situées au niveau de l'aréole mammaire. D'après Ch. Robin, à la face interne des glandes axillaires, on aperçoit un épithélium pavimenteux qui n'existe point dans les glandes *sudoripares* proprement dites.

Les glandes sudorifères apparaissent au cinquième mois de la vie embryonnaire. Dans l'origine, ce sont de simples excroissances de la couche de Malpighi, excroissances tout à fait pleines. A la naissance, leurs canaux excréteurs offrent des sinuosités assez nombreuses, avant de traverser l'épiderme.

Jusqu'à présent, les glandes sudorifères n'ont été étudiées que chez les mammifères domestiques. Suivant Gurtl (3), chez le cheval, le mouton, le cochon et le chien, on observe aux plantes des pieds des glandes sudorifères rappelant celles de l'homme par leurs nombreuses circonvolutions qui manquent chez le bœuf et aussi dans les parties poilues du chien.

Les glandes qui nous occupent sont remplies, pour la plupart, d'un liquide clair et transparent. Celles de certaines régions (glandes de l'aisselle et de l'aréole) renferment un contenu plus ou moins épais dans lequel on peut reconnaître des granulations plus ou moins fines, des cellules, des noyaux cellulaires, de la protéine et de la graisse (Ch. Robin et Kölliker). Il est évident que, résultant d'une mue et d'une dissolution partielle des cellules épithéliales qui revêtent les glomérules sudoripares, ce contenu s'éloigne sensiblement de la sueur ordinaire.

(1) *Histologie humaine*, trad. franç., p. 172. Paris, 1856.

(2) CH. ROBIN, *Note sur une espèce particulière de glandes de la peau de l'homme* (*Ann. des sc. nat.*, 1845, t. IV, p. 380, et Comptes rendus de la Soc. de biologie, 1849, p. 77).

(3) *Mém.* et *Rec. cit.*, p. 399.

Quelquefois les glandes de l'aisselle renferment une matière peu granuleuse ı simplement liquide : il y a donc là comme un passage insensible, eu égard à ur contenu, des petites aux grosses glandes sudorifères.

Burdach (1) refuse à tort d'admettre un organe sécréteur spécial pour la *sueur*. ıivant lui, partout où un accroissement de sécrétion la provoque, elle sort par ı follicules sébacés, parce que, au fond de ces organes, la couche cutanée est plus nce que partout ailleurs. L'aisselle et le pubis représentent, dit-il, des sources ndantes de sueur, parce qu'en effet dans ces régions existent de nombreux licules sébacés.

II. — Il se fait incessamment à la surface de la peau une déperdition de vapeur neuse : c'est ce qui constitue la *perspiration cutanée insensible*. Puis, à certains ments, sous l'influence de conditions particulières, le produit de l'exhalation anée se dépose à la surface de la peau sous la forme de gouttes, et alors on pelle *sueur*.

La *perspiration cutanée*, en apparence peu considérable dans l'état normal, néanmoins une des grandes sources de déperdition de l'organisme vivant. n abondante chez les animaux inférieurs, dont la peau est protégée par des veloppes plus ou moins imperméables, et chez ceux qui ont un épiderme épais, e est en général appréciable chez les mammifères et les oiseaux.

Sanctorius (2), en pesant ses aliments et ses boissons, puis toutes ses excrétions ndérables, reconnut que les 5/8es des matières ingérées avaient pour voie d'élimination la peau et le poumon. Dodart (3) fit des expériences analogues. Plus tard, voisier et Séguin (4), ayant repris cette question, admirent qu'en vingt-quatre ures la quantité de vapeur d'eau exhalée par la peau est, chez l'homme, d'environ 1000 grammes. D'après les résultats obtenus par W. F. Edwards (5) dans s expériences sur la perspiration *pulmonaire et cutanée*, un cochon d'Inde peut rdre, en vingt-quatre heures, 1/12e du poids de son corps ; un lézard, 1/9e ; les oineaux, 1/4 ; les souris, 1/3 de ce même poids.

La perspiration cutanée et la sueur peuvent présenter des fluctuations qui dépenent de causes extérieures ou bien de conditions propres à l'individu lui-même. 'atmosphère, par exemple, est-elle saturée d'humidité et sa température est-elle la ême que celle du corps de l'animal, la transpiration cutanée et pulmonaire se ouve entravée ; alors la sécrétion urinaire y supplée en devenant plus abondante. e contraire s'observe quand l'air ambiant est sec et chaud, c'est-à-dire que l'urine iminue, tandis que l'évaporation cutanée et pulmonaire augmente ; la sueur peut lors apparaître. L'état fortement électrique de l'atmosphère amène des effets anagues : on sue abondamment, dans l'été, surtout à l'approche des orages. Chacun it que toute espèce d'effort, la course, les exercices violents, etc., activent singulièrement la sécrétion de la sueur, qui, en pareil cas, devient plus abondante ncore pendant le travail de la digestion que dans les circonstances ordinaires. Une notion forte, comme la frayeur ou la colère, peut couvrir le corps de sueur, etc.

(1) *Traité de physiologie*, t. VII, p. 422 et suiv., traduct. de Jourdan. Paris, 1837.
(2) *De statica medicina*, t. I. Paris, 1725, in-12.
(3) *Statica medicina gallica*. Paris, 1725, in-12. — Ce livre, publié par les soins de Noguez, ntient le précis des expériences de Dodart sur la *perspiration cutanée*.
(4) *Mém. de l'Acad. des sc. de Paris*, 1790, p. 601.
(5) *Influence des agents physiques sur la vie*, p. 84 et suiv. Paris, 1824.

La *partie gazeuse* de la transpiration cutanée est formée principalement par de l'acide carbonique. Les expériences de Spallanzani, sur des grenouilles et des salamandres auxquelles il avait excisé les poumons; celles de W. Edwards, sur des batraciens dont il avait lié la trachée; celles enfin d'autres expérimentateurs, dans lesquelles on place la main sous une cloche, sur la cuve à mercure, démontrent surabondamment l'exhalation de l'acide carbonique par la peau. Suivant Collard de Martigny, on constaterait aussi la présence de l'azote en quantité variable, et parfois celle de l'hydrogène et de l'acétate d'ammoniaque.

La *partie liquide* de la transpiration cutanée, que l'on peut obtenir en faisant condenser sur les parois d'un cylindre de verre la vapeur exhalée d'une partie vivante, ne renferme guère, comme on le verra plus loin, que de l'eau et quelques matières volatiles. La *sueur*, au contraire, présentera à l'analyse une constitution plus complexe.— Faut-il en conclure que la source de sécrétion est différente pour ces deux produits, et que la peau, à l'exemple des membranes séreuses, est susceptible de laisser exhaler de toute sa surface ce qui constituerait la *perspiration cutanée insensible*, tandis que les glandes sudorifères auraient pour usage de sécréter la *sueur proprement dite?* Connaissant l'extrême richesse de la peau en glandes de cette nature, tenant compte de ce fait que la couche superficielle de cette membrane, l'épiderme, ne se laisse pas pénétrer du dehors au dedans, ni du dedans au dehors, par les liquides, on est conduit à admettre qu'aux glandes sudoripares et à leurs canaux excréteurs revient le rôle de produire et de laisser échapper le fluide exhalé normalement à la surface de la peau, et celui qui, devenu plus abondant dans certaines circonstances, constitue la *sueur*.

Pour divers auteurs, la sueur proprement dite est le liquide que laisse évaporer la peau, comme fait aussi la muqueuse pulmonaire, et le liquide sécrété par les glandes sudorifères ne serait qu'un produit spécial qui viendrait se surajouter, comme celui des glandes sébacées : il en serait donc ici comme pour les muqueuses où le mucus est un produit général qui rend l'eau visqueuse, et auquel s'ajoutent d'autres produits suivant les régions.

Quoi qu'il en soit, la *sueur* offre la fluidité et la transparence de l'eau. Son odeur est *sui generis*, sa réaction est ordinairement acide, mais devient promptement alcaline sous l'influence de l'évaporation. — Si l'on fractionne la sueur recueillie pendant la durée d'une sudation, on constate que le premier tiers est toujours acide, le second neutre ou alcalin, et le troisième alcalin.

Les premières recherches sur la *composition de la sueur* ont été faites par Thenard (1). Il obtint cette humeur au moyen d'un gilet de flanelle préalablement bien lavé dans de l'eau distillée, puis séché, et qui, pendant dix jours, fut porté immédiatement sur la peau au-dessous d'une chemise de toile. Le gilet fut ensuite lavé avec de l'eau qu'on évapora dans une cornue : le produit de la distillation avait l'odeur propre à la sueur, et il était faiblement acide. Thenard conclut de son analyse que l'humeur de la transpiration cutanée, outre de l'eau, renferme du chlorure sodique et de l'acide acétique, un peu de phosphate sodique, des traces de phosphate calcique et ferrique, et une matière animale qu'il compare à la gélatine, probablement à cause de sa propriété d'être précipitée par le tannin.

Berzelius (2), ayant fait aussi quelques recherches sur la sueur, dit que cette

(1) Cité par Berzelius. *Chimie*, trad. franç., t. VII, p. 321. Paris. 1833.
(2) *Chimie*, trad. franç., t. VII, p. 324 et suiv.

humeur tient en dissolution les mêmes matières qu'on rencontre dans les liquides acides de la chair musculaire, et qui, après l'évaporation, sont dissoutes par l'alcool. « Mais la sueur, ajoute cet illustre chimiste, renferme tant de chlorure sodique, que l'extrait alcoolique se remplit de cristaux de ce sel. Elle laisse aussi une petite quantité de matières animales insolubles dans l'alcool, probablement semblables, quant à leur nature, à celles qu'on trouve en général dans les liquides du corps. Le chlorure ammonique est aussi au nombre des sels qui cristallisent dans la dissolution alcoolique de la sueur desséchée. »

Afin d'obtenir le produit de la *perspiration cutanée insensible* de l'homme, Anselmino (1) fit séjourner, pendant plusieurs heures, le bras tout entier de divers individus dans un long cylindre de verre, sans ouverture inférieure, et dont il ferma hermétiquement l'orifice supérieur au moyen d'une toile cirée solidement attachée autour du membre, mais de telle sorte que nulle part ce dernier ne touchât le cylindre. La quantité de fluide perspiré obtenue par ce moyen ne fut jamais considérable, et pouvait tout au plus, par chaque individu, être évaluée à une cuillerée à bouche pour cinq ou six heures. « Ce fluide était limpide, inodore, insipide ; il ne se comportait ni comme un acide, ni comme un alcali, et ne passait pas à la décomposition putride. » A l'analyse, Anselmino l'a trouvé composé d'eau, — d'acide carbonique, — d'acide acétique — et d'ammoniaque.

Dans les cas où le bras avait été en contact avec le cylindre de verre, la matière perspirée recueillie par cet observateur avait une odeur de *sueur* et renfermait beaucoup de chlorure de sodium. Lorsque l'expérience avait lieu pendant un temps frais, et quand la peau était sèche, le liquide était beaucoup moins abondant; on y trouvait de l'acide carbonique, mais pas de quantité appréciable d'ammoniaque, ni d'acide acétique.

Quant à la *sueur proprement dite*, Anselmino en recueillit au moyen d'une éponge promenée sur la peau de cinq jeunes gens soumis à une sudation assez abondante : chaque sujet avait fourni six à dix onces de cette humeur. Celle-ci était trouble, avait une saveur salée, une odeur particulière plus ou moins prononcée suivant les individus; son exposition prolongée à l'air la faisait passer à la putréfaction. — D'après ses analyses, 100 parties de sueur desséchée contiennent :

Matières insolubles dans l'eau et l'alcool (sels calciques pour la plus grande partie) = 2 pour 100. — Matière animale soluble dans l'eau et insoluble dans l'alcool et sulfates = 21. — Matières solubles dans l'alcool affaibli ; chlorure sodique, extrait de viande = 48. — Matières solubles dans l'alcool anhydre, extrait de viande, acétate alcalin et acide acétique libre = 29.

En outre, Anselmino a trouvé que 100 parties du résidu sec de la sueur laissent, après incinération, 22,9 parties de cendres renfermant du carbonate, du sulfate et du phosphate sodiques, un peu des mêmes sels potassiques et du chlorure sodique, tous solubles dans l'eau, plus du phosphate et du carbonate calciques, avec des traces d'oxyde ferrique, qui furent laissés par ce liquide.

Le même expérimentateur, ayant fait des recherches sur la sueur de différents malades, n'a obtenu que des résultats peu satisfaisants. Il dit néanmoins avoir constaté la présence d'une plus grande quantité d'ammoniaque et de sels dans la

(1) *Recherches sur la nature chimique de la sueur* (*Journal des progrès*, t. II, p. 121, année 1827).

sueur des goutteux, et avoir trouvé de l'albumine dans une sueur critique, à la suite d'une fièvre rhumatismale, etc.

Suivant Berzelius, il y a vraisemblablement des différences dans la composition de la sueur des diverses parties du corps, et ce liquide n'entraîne point partout les mêmes matières : la sueur des pieds présente une odeur différente de celle des autres parties, et celle des aisselles a une odeur ammoniacale ; chez les personnes grasses, la sueur des organes génitaux contient fréquemment de l'acide butyrique, et le produit des glandes sudorifères de l'aisselle paraît différer notablement de celui qui est contenu dans les autres glandes sudoripares.

Les recherches les plus récentes et les plus complètes sur la composition de la sueur, chez l'homme, sont dues à P. Favre (1). C'est par leur exposition que nous terminerons l'histoire chimique de cet important fluide.

La quantité totale de sueur, sur laquelle Favre a fait plusieurs séries d'expériences, a été de 55 litres environ.

Il s'est entouré de nombreuses précautions pour obtenir la sueur aussi pure que possible : le sujet, soumis à l'expérience, prenait un bain de vapeur tous les deux jours, et portait du linge d'une propreté extrême ; puis, avant de le placer dans l'appareil, on lui donnait un bain simple et une douche d'eau tiède.

L'appareil consistait en une sorte de baignoire de tôle parfaitement étamée, et reposait sur une table appropriée et légèrement inclinée, de telle sorte que la sueur arrivait à la partie déclive, et s'écoulait par une rigole aboutissant à une ouverture à laquelle était soudée une tubulure qui s'engageait dans le goulot d'un flacon. La tête du sujet en expérience était placée au sommet du plan incliné, et les pieds à la partie la plus déclive.

Chaque expérience durait d'une heure à une heure et demie, l'appareil étant placé au milieu d'une étuve chauffée par un jet de vapeur. La sueur recueillie était presque immédiatement soumise à l'analyse.

D'après Favre, la sueur renferme beaucoup de chlorure de sodium, du chlorure de potassium, d'autres sels, de l'*urée*, et un nouvel acide azoté uni à la soude et à la potasse, qu'il propose d'appeler *acide sudorique* pour rappeler son origine. La formule de cet acide le rapproche, à certains égards, de l'acide urique, acide qu'on ne retrouve pas dans la sueur.

Une analyse du même chimiste a donné les résultats suivants, quant aux proportions des diverses parties constituantes de la sueur :

	Pour 14 litres.	*Pour 10000 grammes.*
Chlorure de sodium	31,32	22,30
Chlorure de potassium	3,41	2,43
Sulfates alcalins	0,16	0,11
Albuminates alcalins	0,07	0,05
Lactates alcalins	4,44	3,17
Sudorates alcalins	21,87	15,62
Urée	0,59	0,42
Matières grasses	0,19	0,13
Eau	13938,02	9955,73

Outre ces principes, on peut rencontrer dans la sueur des traces de phosphates alcalins, de phosphates alcalino-terreux, et des débris d'épiderme.

(1) *Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris*, novembre 1852, et *Archives générales de médecine*, 1853, 5e série, t. II, p. 1 et suiv.

Thenard et d'autres chimistes avaient signalé, dans la sueur, la présence de sels ammoniacaux qui provenaient sans doute de la décomposition de l'*urée* : on sait qu'en effet la transformation de ce principe en carbonate d'ammoniaque est facile sous l'influence de la fermentation provoquée par des traces de matières azotées. Mais Favre, le premier, est parvenu à isoler l'*urée* de la sueur humaine (*).

Récemment Funke a trouvé aussi de l'urée dans ce liquide, il en a rencontré 0,38 pour 100.

Favre, étudiant d'une manière comparative les éléments de l'urine et ceux de la sueur, a constaté entre eux une grande analogie quant à leur nature, et une grande différence eu égard à leur quantité relative dans l'un et l'autre liquide. — La matière minérale, prédominante dans les deux cas, est le sel marin. Mais les sulfates et les phosphates, qui sont abondants dans l'urine, se retrouvent à peine dans la sueur; ce qui prouve que les sels minéraux ne sont pas indistinctement éliminés par les divers émonctoires de l'économie.

	Sueur, sur 14 litres.	*Urine, sur 14 litres.*
	Gram.	Gram.
Chlorures	34,639	57,018
Sulfates	0,160	21,769
Phosphates	traces	5,381
Alcalis exprimés en soude réelle.	4,183	2,494
Matières organiques	22,920	139,650

Les 139gr,650 de matières organiques contenues dans ces 14 litres d'urine ne comprennent ni l'urée ni l'acide urique.

III. — Le but de la perspiration cutanée et de la sécrétion de la sueur paraît être multiple.

La quantité de matières solides qui s'échappent par cette voie est peu considérable, et d'ailleurs ces matières se retrouvent dans l'urine, de telle sorte qu'on ne saurait considérer leur élimination comme étant l'objet principal. Sans doute, comme l'a fait observer Favre dans son remarquable travail, il y aurait de l'intérêt à comparer la quantité des matériaux solides éliminés par la transpiration cutanée dans les circonstances habituelles à celle des matériaux solides fournis par l'urine dans le même temps (dans les vingt-quatre heures, par exemple), afin de connaître jusqu'à quel point ces deux fonctions de sécrétion sont complémentaires, pour expulser une certaine somme de matériaux solides; malheureusement on n'entrevoit guère le moyen de rendre comparables les déductions fournies par la transpiration forcée avec les résultats que fournirait la transpiration naturelle.

Quoi qu'il en soit, c'est surtout de l'eau que la transpiration cutanée entraîne hors de l'économie, et nous savons déjà que la transpiration sert de *régulateur* pour l'abaissement de la température du corps, lorsque cette dernière a été portée à un trop haut degré par un exercice violent ou par la chaleur élevée de l'air ambiant. — L'homme se trouve-t-il dans un climat froid, dit Lavoisier (1),

(*) FOURCROY avait déjà avancé qu'il existait de l'*urée* dans la sueur de cheval (voy. BERZELIUS, *Traité de chimie*, t. VII, p. 330, trad. franç. de Esslinger, Paris, 1833).

(1) *Mémoires de l'Académie des sciences de Paris*, 1789, p. 678.

d'un côté l'air étant plus dense, il s'en décompose une plus grande quan le poumon (et les capillaires généraux), plus de calorique se dégage et v la perte qu'occasionne le refroidissement extérieur ; d'un autre côté, la *ti tion* diminue, il se fait moins d'évaporation, donc moins de refroidisse même individu passe-t-il dans une température beaucoup plus chaude plus raréfié, il ne s'en décompose plus une aussi grande quantité, moin rique se dégage dans le poumon (et les capillaires généraux) ; une tra cutanée abondante, qui s'établit alors, enlève tout l'excédant du calor fournit la respiration : et c'est ainsi que s'établit cette température à peu stante de 38 degrés centigrades, que plusieurs quadrupèdes et que l'hon ticulièrement conservent dans quelques circonstances qu'ils se trouvent. nul doute qu'un des usages de la transpiration cutanée ne soit de mainte libre de la température du corps.

Mais nous avons vu que dans la matière de la perspiration cutanée im trouve dissous de l'acide carbonique, qu'en même temps que cette mati pore, se dégagent aussi par la peau de l'azote (*) et de l'acide carbonique derniers produits des métamorphoses de la nutrition. Quant à la sueu ment dite, nous connaissons déjà également tous les matériaux qu'elle e d'entraîner au dehors. Aussi ne semble-t-il guère contestable qu'un a de ces sécrétions doive se rapporter à la dépuration du sang.

Des observations et des expériences concluantes prouvent bien d'a liaison intime qui existe entre la transpiration et l'état de santé. Qui n lorsqu'une variation brusque de température vient à interrompre la tra tout à coup, il en résulte ce qu'on appelle un refroidissement, source d nombre de maladies ? En supprimant, à l'aide d'enduits imperméables vernis, colle forte, etc.), l'évaporation cutanée chez divers animaux, Fou a vu survenir des désordres graves suivis d'une mort plus ou moin H. Bouley (2), en reproduisant les mêmes expériences sur des chevaux r enduits de goudron, a observé tous les effets d'une véritable asphyxie premier cheval succomba le dixième jour ; un deuxième survécut neuf troisième sept jours ; un dernier, enduit d'abord de colle forte, puis d'u de goudron, mourut dans la neuvième heure qui suivit cette double ap Après la mort des animaux, en pareil cas, on trouve les tissus et les principalement les poumons, le foie et les muqueuses, gorgés d'un s comme après l'asphyxie. Il est présumable que l'acide carbonique no s'accumulant dans le sang, a fini par déterminer une asphyxie lente saurait guère rapporter à la rétention de l'eau, puisqu'on voit sans cesse tion urinaire et la perspiration pulmonaire pouvoir, sous ce rapport, l'évaporation cutanée.

(*) Suivant COLLARD DE MARTIGNY.

(**) D'après les recherches de SCHARLING (*Ann. de chim. et de phys.*, 3e série, t. HANNOVER (*De quant. relat. et absol. acidi carbonici ab homine sano et ægroto* Copenhague, 1845), l'exhalation d'acide carbonique par la peau serait environ 38 fois m l'exhalation par le poumon.

(1) FOURCAULT, *Expériences démontrant l'influence de la suppression mécani transpiration cutanée sur l'altération du sang* (*Comptes rendus de l'Acad. des sc.* t. VI, p. 369 ; — *Ibid.*, t. XII, p. 185, t. XVI, p. 139, 338).

(2) *Recueil de médecine vétérinaire*, 1850, p. 5, 805.

SÉCRÉTION SÉBACÉE (*).

La *matière sébacée* est sécrétée par de petites glandes qui, en général, appartiennent à la classe des *glandes en grappe*. Situées dans les couches superficielles du derme, ces glandes, qui font complétement défaut dans certaines parties du corps, comme à la plante des pieds et à la paume des mains, forment un plan superposé aux glandes *sudorifères*. Les conduits excréteurs des unes et des autres marchent isolément.

Quels rapports les glandes sébacées affectent-elles avec les follicules pilifères? D'après Eichhorn (1), ces glandes n'existeraient point comme organes distincts, et la matière sébacée serait sécrétée dans les kystes des poils. Partout où il y a des poils, suivant E. H. Weber (2), les glandes sébacées s'ouvrent dans les follicules pileux eux-mêmes. — Ch. Robin (3) distingue des glandes *sébacées proprement dites* et des *glandes pileuses :* les premières offrent une embouchure commune avec les petits follicules pileux, et les secondes s'ouvrent dans de larges follicules pilifères. Quant à Kölliker (4), qui admet que plusieurs des glandes sébacées sont constituées par de simples utricules pyriformes, tandis que d'autres forment des glandes en *grappe simple* ou des glandes en *grappe composée*, il affirme qu'elles sont généralement plus grosses autour des petits poils qu'au voisinage des poils volumineux. Les plus considérables, d'après cet observateur, se rencontrent au mont de Vénus, aux grandes lèvres, au scrotum, où l'on voit, disposées très élégamment autour du même follicule pileux, quatre à huit glandes sébacées.

Au gland et à la face interne du prépuce, existent des glandes sébacées ordinaires (*glandes de Tyson*), mais qui, n'affectant aucun rapport avec des follicules pileux, viennent s'ouvrir directement à la surface de la peau.

Chaque glande sébacée se compose d'une enveloppe extérieure de tissu conjonctif, et d'un amas de cellules placées intérieurement, cellules variables suivant les régions. Ces dernières, arrondies ou ovoïdes, contiennent des gouttelettes graisseuses en plus ou moins grande quantité, et forment, en se détachant, la matière sébacée, masse jaune ou blanc jaunâtre, demi-fluide à l'état frais et à la température du corps, dans laquelle l'analyse a révélé la présence de la caséine, de l'albumine, de la graisse, de matières extractives et de phosphate calcaire. — De la cholestérine a été trouvée en minime proportion dans la matière sébacée du prépuce.

Sur 100 parties de l'humeur sébacée, qui recouvre si abondamment la peau des enfants à leur naissance, on a trouvé 10,15 de margarine, d'oléine, de margarates et d'oléates alcalins; 5,40 de matière azotée, d'épithélium, etc.; 84,45 d'eau.

La sécrétion sébacée paraît avoir pour usage d'assouplir la peau, de la revêtir d'une sorte d'enduit gras propre à la protéger, jusqu'à un certain point, contre l'action de l'eau ou des matières excrémentitielles. Il est à noter que, dans

(*) De *sebum*, suif.

(1) MECKEL'S *Archiv*, etc., 1826, n° 3, p. 305.
(2) FRORIEP'S *Notizen*, mars 1840.
(3) *Hist. natur. des végétaux parasites*. Paris, 1853, p. 488.
(4) *Histologie humaine*, p. 184 et suiv., trad. franç. Paris, 1856.

les points où la sueur tend à séjourner longtemps, comme à l'aisselle ou à l'aine, les glandes sébacées sont extrêmement abondantes. Elles sont nombreuses aussi au pourtour de l'anus, dans le voisinage du méat urinaire chez la femme, etc.

La matière sébacée concourt à rendre les cheveux ou les poils lisses et souples, et à empêcher les plumes de certains oiseaux de se laisser mouiller ; sous le nom de *suint*, elle imprègne la laine de brebis. Son odeur, comme celle de la transpiration cutanée, varie avec les espèces animales. — Divers auteurs ont cru devoir rapprocher, comme ayant quelques analogies, la *matière sébacée* du musc, du castoréum, de la civette, de l'huile fétide du putois, etc., tous produits de sécrétion qui, comme cette matière, sont plus ou moins riches en substances grasses.

Quant à la *sécrétion du cérumen*, elle est due à des petits corps glandulaires de couleur brunâtre, de forme semblable à celle des glandes sudoripares, et siégeant dans la portion cartilagineuse du conduit auditif externe, entre la peau et le cartilage, où ils forment une couche continue.

De ses recherches sur le cérumen des oreilles, Berzelius (1) conclut que cette matière est une combinaison émulsive d'une graisse molle et d'albumine avec une autre matière de nature certainement particulière, un extrait jaune, fort amer, soluble dans l'alcool, une matière extractiforme soluble dans l'eau, et des lactates calcique et alcalins, mais qu'elle ne renferme aucun chlorure, ni aucun phosphate soluble dans l'eau.

Le cérumen, ajoute Berzelius, paraît avoir pour usage d'empêcher les insectes de pénétrer dans le conduit auditif externe, soit parce qu'il les retient en vertu de sa viscosité, soit parce que son principe amer leur inspire de la répugnance. — Quelquefois il s'amasse, s'endurcit et cause la surdité, en bouchant le conduit auditif: en pareil cas, on le ramollit aisément en versant dans le conduit un mélange d'huiles de térébenthine et d'olive, qui rend la graisse liquide. Une injection d'eau tiède, que l'on pousse ensuite avec une certaine force, suffit pour amener au dehors la masse cérumineuse, cause de l'accident.

SÉCRÉTION MUQUEUSE.

Le *mucus*, liquide existant à la surface de toutes les membranes muqueuses, est sécrété dans quelques-unes par le tissu même de ces membranes, et, dans d'autres, par des follicules spéciaux qu'on désigne sous le nom de *follicules muqueux*. Par exemple, la muqueuse qui tapisse les sinus frontaux, les sinus sphénoïdaux, etc., est complétement dépourvue de ces follicules, et pourtant on sait combien la sécrétion du mucus à sa surface est parfois abondante dans certains coryzas.

Fourcroy et Vauquelin considéraient le mucus comme un fluide identique dans tous les points où il est versé. Sans doute, il est partout à peu près le même sous le rapport de sa viscosité; mais, selon la remarque de Berzelius (2), il varie beaucoup à l'égard de ses caractères chimiques, suivant la nature des liqueurs ou

(1) *Traité de chimie*, trad. franç. Paris, 1833, t. VII, p. 168.
(2) *Ouvr. cit.* Paris, 1833, t. VII, p. 144.

ères auxquelles il est destiné à résister. Par mucus, dit-il, on doit entendre tance solide qui ne se dissout pas dans l'eau, mais qui peut s'imbiber de ce en se gonflant, en devenant molle, visqueuse et même quelquefois demi-ette substance, à la surface interne de la membrane qui l'épanche uni-nt, est pénétrée de l'eau chargée de sels qui provient du sérum du sang, porte en tous points comme si sa sécrétion tenait à la conversion de l'al-du sérum en cette matière susceptible de se gonfler dans l'eau. Cepen-reuve que le mucus n'est point de même nature partout, c'est que, par , le mucus de la vésicule du fiel est tout à fait insoluble dans les acides, agulent et le précipitent de sa dissolution dans une liqueur alcaline, tandis ntraire celui de la face interne de la vessie urinaire se dissout, jusqu'à un oint, tant dans les acides étendus que dans les alcalis.

lins, ayant analysé le *mucus nasal*, lui a trouvé la composition suivante (1) :

Mucus particulier	5,33
Extrait soluble dans l'alcool et lactate alcalin	0,30
Chlorures sodique et potassique	0,56
Extrait soluble dans l'eau avec traces d'albumine et d'un phosphate	0,35
Soude combinée avec le mucus	0,09
Eau	93,37
	100,00

s ces substances, hormis le *mucus particulier*, sont communes au mucus pus et au sang.

ne le fait observer Henle (2), sous le nom de *mucus* on a réuni trois ma-ifférentes entre elles, par leur origine, leur destination physiologique et nposition, savoir : 1° les débris de l'épiderme des membranes muqueuses, cumulent par suite d'une desquamation incessante ; 2° du pus, liquide mêlé lus ou moins grande quantité de granulations particulières, qui se forme plus légères inflammations des membranes muqueuses ; 3° le mucus pro-t dit, ou sécrétion liquide des glandes mucipares. — Ce mucus tient-il en ion une matière qui lui soit propre, ou bien sa sécrétion n'est-elle autre our ainsi dire, que le plasma du sang transsudant à travers les vaisseaux ? présent, on n'a pas réussi à isoler cette matière, qui serait la caractéris-t mucus. Il faut dire néanmoins que l'on a signalé, sous le nom de *muco-e* ou plusieurs substances organiques auxquelles le mucus devrait sa vis-

ucus est une humeur plus ou moins gluante et filante, généralement fade ide ; l'eau, nous l'avons dit, le fait gonfler, mais ne le dissout pas. La ne le coagule point. Lorsqu'il a été délayé dans l'eau, l'alcool l'en pré-On trouve dans le mucus de la *pyine* (Gueterbock) : cette matière ani-luble dans l'eau, serait commune au pus et au mucus. Le mucus tient ension un grand nombre de cellules d'épithélium, et, suivant que ce der-: pavimenteux, nucléaire ou cylindrique, on peut être mis à même de ner le point duquel provient le mucus sécrété.

ucus forme une couche d'épaisseur variable à la surface des différentes

(1) *Dict. cit.*, t. VII, p. 463.
(2) *Anat. génér.*, trad. de Jourdan. Paris, 1843, t. I, p. 55 et suiv.

muqueuses. Lorsqu'une de ces membranes (muqueuses de la vésicule biliaire, de la vessie, du rectum) doit être toujours ou plus ou moins longtemps en contact avec des matières irritantes, il est sécrété en beaucoup plus grande abondance qu'au niveau des autres muqueuses que ces matières ne font, pour ainsi dire, qu'effleurer à leur passage.

Ainsi, protection contre l'action des corps irritants, tel paraît être le rôle principal que remplit le mucus ; de plus, cette liqueur entretient les membranes, avec lesquelles elle se trouve en contact, dans un état de souplesse indispensable à leurs usages particuliers. — On a supposé que, dans certains phénomènes de la digestion, le mucus, en se décomposant, pouvait agir à la manière d'un ferment : nous avons dit déjà, en nous occupant de ces phénomènes, ce qu'il faut penser d'une pareille hypothèse.

SÉCRÉTIONS SÉREUSE ET SYNOVIALE.

I.—Les membranes séreuses splanchniques, sortes de grands sacs sans ouverture, étalés et repliés autour des viscères les plus importants, présentent une texture assez simple. Un substratum cellulo-fibreux, plus ou moins résistant suivant la région, forme une espèce de doublure extérieure à chaque séreuse, et est tapissé à sa face interne par une couche de cellules épithéliales pavimenteuses. Le précédent feuillet cellulo-fibreux possède des vaisseaux sanguins en grand nombre; aussi, surtout dans certains états pathologiques, sa vascularisation devient-elle des plus évidentes. Quant aux vaisseaux lymphatiques, ils avaient été accordés si largement aux membranes séreuses, qu'on les avait considérées comme formées presque uniquement par eux ; mais cette opinion, d'après des recherches nombreuses et récentes, ne paraît plus pouvoir être défendue. Il en est de même de l'hypothèse émise par Bourgery, qui a voulu voir dans ces membranes un lacis nerveux inextricable.

Dans certains points, les séreuses forment de petites saillies, des plis ou des franges que l'on a qualifiés, à tort, du nom de *glandes*. En réalité, elles ne renferment aucune espèce d'organe glandulaire, et le liquide que l'on observe dans les cavités qu'elles limitent suinte de toute leur surface sous la forme d'une rosée presque incolore.

La sérosité de ces membranes y est versée à l'état liquide. Il ne saurait plus être question, en effet, de la *vapeur séreuse* qu'on admettait autrefois : les objections que J. Davy (1), J. Müller (2), E. H. Weber (3), etc., ont formulées contre cette manière de voir, et l'observation directe, s'opposent à ce qu'on puisse la soutenir encore aujourd'hui. C'était là une vue contraire aux lois de la physique et de la chimie, et qui ne pouvait dépendre que de ce que la théorie de la tension des liquides n'était point encore développée à cette époque. — Sur de petits ruminants, vient-on à enlever avec soin, dans une certaine étendue des parois abdominales, la tunique élastique et les muscles, de manière à mettre à nu le péritoine, on voit, à travers cette membrane transparente, la sérosité déjà accumulée

(1) *Philos. Transact.*, 1822, part. II, p. 273.
(2) *Physiol.*, t. I, p. 428.
(3) *De cavitatibus corp. hum. materiis solidis et liquidis plane expletis*, etc. Leipsick, 1838.

dans les points déclives (1). Évidemment celle-ci ne saurait être regardée comme provenant d'une vapeur condensée par l'action de l'air, puisque, dans cette expérience, le péritoine n'avait point été ouvert.

On admet assez généralement que, dans l'état normal, ce liquide ne se trouve guère que dans la proportion suffisante pour humecter les surfaces séreuses ; et, dans les autopsies, on a coutume d'attribuer le plus souvent la présence d'une quantité notable de sérosité à la transsudation cadavérique. Sans doute la transsudation et l'imbibition en augmente la quantité après la mort ; mais, sur les animaux vivants, elle existe toujours en proportion telle qu'on peut l'apercevoir dans les points les plus déclives. Chez des chevaux morts par effusion de sang, et ouverts immédiatement après, Colin (2) a généralement trouvé de 80 à 100 grammes de sérosité dans le péricarde, de 100 à 200 grammes dans les plèvres, de 300 à 1000 grammes dans le péritoine, et de 5 à 8 grammes dans les ventricules encéphaliques.

La production du liquide des séreuses s'arrête le plus souvent au début de l'inflammation de ces membranes, puis elle se rétablit plus tard avec une grande intensité, et alors apparaissent des caractères nouveaux au point de vue de la composition et de la coagulabilité de ce liquide. Cette production devient parfois très abondante sous l'influence d'obstacles, plus ou moins prochains, au cours de la circulation : en effet, certaines hydropisies s'établissent d'une manière presque foudroyante à la suite du refroidissement du corps couvert de sueur, ce qui semble indiquer une corrélation remarquable entre les fonctions de la peau et celles des membranes séreuses où, dans l'état normal, une résorption incessante, doit faire antagonisme à l'exhalation.

L'analyse chimique du liquide des cavités séreuses démontre qu'il offre à peu près les caractères du sérum du sang. Il est vrai que l'analyse dont il s'agit a porté sur de la sérosité accrue en quantité par l'influence de causes morbides : dans l'état de santé, elle n'est pas ordinairement en assez grande proportion, et l'on comprend dès lors toute la difficulté qu'on doit avoir à s'en procurer une quantité suffisante pour en faire l'analyse. Toujours est-il, et cela mérite attention, qu'on a constamment trouvé, dit Berzelius (3), la composition de cette liqueur absolument identique, « soit qu'elle provînt des ventricules du cerveau, soit qu'elle tirât son origine de la cavité pectorale, ou de la cavité abdominale, ou du sac qui entoure les testicules. »

Ce liquide est limpide, sa teinte est légèrement citrine, sa réaction alcaline et sa pesanteur spécifique de 1,010 à 1,020. On peut le considérer comme du sérum du sang ayant environ le degré de dilution qu'aurait le sérum ordinaire, si on l'étendait d'à peu près sept fois son volume d'eau pure (Berzelius). Chauffé jusqu'à l'ébullition, il devient opaque sans se coaguler ; mais, si l'on continue longtemps la coction, il finit par se troubler, et dépose quelques petits flocons d'albumine coagulée, laquelle néanmoins a subi un commencement d'altération par la longue durée de l'ébullition et se dissout bien plus difficilement dans l'acide acétique que l'albumine coagulée du sérum du sang. — Voici l'analyse qu'a donnée Berzelius (4) du liquide sécrété par la séreuse cérébrale :

(1) Colin, *Physiologie comparée des animaux domestiques*. Paris, 1866, t. II, p. 438.
(2) *Loc. cit.*
(3) *Traité de chimie*, trad. franç. de Fslinger, t. VII, p. 141.
(4) *Loc. cit.*

Albumine	1,66
Substance soluble dans l'alcool avec lactate sodique	3,32
Chlorure potassique et chlorure sodique	7,09
Soude	0,28
Substance animale insoluble dans l'alcool	0,26
Phosphates terreux	0,09
Eau	988,30
	1000,00

L'analyse a parfois révélé, dans le liquide des membranes séreuses, la pré de la fibrine, de la graisse, du sucre, des matières colorantes de la bile, mais, dans tous ces cas, il s'agissait d'états pathologiques variés.

Les usages du fluide contenu dans les cavités séreuses semblent se rap uniquement au jeu et aux déplacements divers des organes renfermés da cavités splanchniques : toutes les parties du corps qui ont besoin de p changer librement de position respective sont en effet revêtues d'une mem séreuse.

II. — Les articulations sont tapissées à l'intérieur par une couche épit non interrompue et soutenue par des tissus de nature diverse. On sait que tence des *membranes synoviales*, en tant que membranes formant un tou tinu, comme l'admettait Bichat, a été contestée, et que différents auteurs l considérées comme de simples surfaces. De quelque manière qu'on envi problème, il n'en paraît pas moins vrai qu'ici la couche de cellules épit pavimenteuses ne présente aucune interruption. — Ces membranes produis liquide, on a voulu trouver, dans leur constitution, des glandes capable verser à leur surface interne. C. Havers (1), un des premiers, décrivit, nom de *glandes synoviales*, des pelotons rougeâtres, spongieux, situés da térieur de diverses séreuses articulaires. Ces prétendues glandes ne sont en que de la graisse, revêtue par la membrane synoviale, et abondamment p de vaisseaux artériels et veineux. En raison de ce grand nombre de vai il est bien certain que les prétendues glandes ou franges synoviales p prendre part à l'exhalation de la membrane; mais ce rôle n'est certaineme dévolu à elles seules, puisque la synovie se trouve aussi abondante dans l culations où ces appendices font complétement défaut. Son exhalation a l toute la surface de la séreuse articulaire.

La synovie est un liquide clair, un peu jaunâtre et doué d'une com oléagineuse. — L'analyse de la synovie du cheval a donné à John les r suivants :

Eau	92,9
Albumine	6,4
Substance animale non coagulable (matière extractive), chlorure et carbonate sodiques	0,6
Phosphate calcique	0,15
Sel ammonique et phosphate sodique	traces
	99,95

Lassaigne et Boissel, ayant analysé la synovie de l'homme, ont obtenu près les mêmes résultats. Margueron, Vauquelin et Bostock avaient aussi p antérieurement à une pareille analyse.

(1) *Osteologia, or Some new Observations of the Bones and the Parts belonging* part. IV. London, 1691, in-4.

Dans l'état normal, le fluide synovial se trouve en quantité peu considérable, plus grande néanmoins qu'il ne le faut pour opérer la simple lubrifaction des surfaces articulaires. Chez un cheval en bonne santé, examiné immédiatement après la mort, Colin (1) a trouvé 6 grammes de synovie dans l'articulation de l'épaule, 7 grammes dans celle du coude, 6 grammes dans l'articulation coxo-fémorale, 8 grammes dans la fémoro-tibiale ; c'est-à-dire des quantités évidemment bien supérieures à celle qui est rigoureusement nécessaire pour lubrifier ces diverses articulations.

La synovie augmente souvent de quantité dans les états pathologiques, mais alors elle perd assez rapidement ses caractères primitifs et surtout sa viscosité.

Les usages de la synovie sont entièrement mécaniques : ce liquide enduit les surfaces articulaires et facilite les glissements nombreux qu'elles exécutent les unes sur les autres.

SÉCRÉTION DE LA GRAISSE.

Nous croyons devoir réserver l'étude de cet intéressant problème pour le chapitre dans lequel il sera traité spécialement des actes de la *nutrition*.

FONCTIONS DES GLANDES VASCULAIRES SANGUINES.

En cherchant, dans nos considérations générales sur les sécrétions, à caractériser le tissu glandulaire et à le différencier des autres tissus, nous avons vu qu'il renferme des *cellules spéciales* dont le rôle consiste à extraire du sang et souvent aussi à élaborer certains matériaux qui, une fois sécrétés, doivent se rendre aux surfaces tégumentaires. Alors nous avons exposé les raisons qui obligent à faire une classe à part de la *rate*, des *capsules surrénales*, du *thymus* et du *corps thyroïde*, sous le nom de *glandes vasculaires sanguines*. Celles-ci possèdent également, il est vrai, des cellules ou des vésicules propres, mais dont les produits, faute de canaux excréteurs, au lieu d'être versés à la surface cutanée ou muqueuse, sont repris par les veines et les lymphatiques qui les emportent dans le torrent circulatoire : ces produits de sécrétion sont supposés avoir pour principal rôle de changer la constitution microscopique et chimique du liquide sanguin.

Chacune des quatre glandes vasculaires sanguines va fixer successivement notre attention.

DE LA RATE ET DE SES FONCTIONS.

I. — La *rate* n'existe que chez les animaux vertébrés. On commence à la rencontrer dans les poissons, excepté chez les branchiostomes, qui paraissent en manquer; elle est remplacée, chez ces poissons, par des organes glanduleux dépourvus de canaux excréteurs et situés dans le voisinage du cardia. Son existence est constante chez tous les reptiles, les oiseaux et les mammifères, mais son siége est variable. Le plus souvent simple, la rate est parfois multiple, comme chez le dauphin, par exemple.

Cet organe, considéré au point de vue de sa texture intime, offre à étudier, sans compter son enveloppe péritonéale, — une trame fibreuse ou partie fondamen-

(1) *Ouvr. cit.*, t. II, p. 410.

tale qui assure sa forme et sert de substratum à ses divers éléments constitutifs; — des éléments qui lui sont propres, tels que les corpuscules de Malpighi et la pulpe splénique; — et enfin des éléments qui lui sont communs avec tous les autres viscères, comme les nerfs et les vaisseaux.

La *partie fondamentale* de la rate se compose d'une membrane fibreuse qui, après avoir recouvert toute la surface externe de l'organe, se réfléchit sur les vaisseaux, accompagne leurs divisions et forme des cloisons qui subdivisent l'intérieur en une multitude de petites cavités. On peut rendre cette disposition évidente en insufflant la rate et en la faisant sécher. « A la coupe, on voit, selon l'expression de Malpighi (1), qu'elle est composée de cellules semblables à celles qu'on remarque dans les rayons de miel des abeilles. » Ces cellules, qui communiquent largement entre elles, ont été comparées à celles des corps caverneux; mais elles en diffèrent en ce que leur surface interne n'est pas tapissée d'une membrane. Bourgery (2) a décrit sur leurs parois une multitude de granulations mêlées à des capillaires, ce qu'il a appelé *champ granulo-capillaire;* mais aucun auteur n'est parvenu à confirmer les résultats annoncés par cet anatomiste.

On a coutume de regarder l'enveloppe de la rate et ses prolongements intérieurs, sous forme de cloisons, comme composés de tissu fibreux. Kölliker (3) surtout a démontré qu'indépendamment du tissu conjonctif et des fibres élastiques, cette enveloppe et ses trabécules contiennent une certaine quantité de fibres musculaires lisses (chien, cochon, âne, chat). Mazonn (4) affirme avoir répété la même observation sur la rate de l'homme.

Malpighi (5) avait déjà beaucoup insisté sur l'existence de fibres musculaires dans la membrane d'enveloppe de la rate. Il y admet « des faisceaux charnus destinés à raffermir le tissu lâche de la rate et à exprimer le fluide contenu dans les cellules à la manière des oreillettes du cœur. » Il assure les avoir constatés chez l'homme après une longue macération, mais surtout chez le bœuf.

Les trabécules de la rate servent de soutien aux capillaires sanguins, et les mailles qu'elles circonscrivent logent les corpuscules de Malpighi et la pulpe splénique.

Quant aux *corpuscules de Malpighi*, « on remarque dans la rate, dit cet observateur (6), une grande quantité de petites glandes ou plutôt de petites vessies ramassées ensemble à la manière de grappes de raisin, et réparties dans toute la rate. Elles ont une forme ovalaire; leur couleur est blanche et elles conservent cette couleur, même après l'injection des vaisseaux avec de l'encre. Elles sont formées d'une membrane molle et fragile. Leur cavité, très petite, est imperceptible à la vue; mais on est fondé à l'admettre, car ces glandules s'affaissent après qu'elles sont coupées. Merveilleusement disposées dans les cellules, elles sont attachées aux ramifications de la capsule, et par conséquent aux derniers filaments des artères. Les capillaires artériels prennent naissance sur ces *petites glandes* à la manière des capréoles de la vigne ou des filets du lierre. »

Les précédents corpuscules sont plus visibles dans la rate des grands animaux

(1) *Discours anatom. sur la structure des viscères*, trad. franç., 2e édit. Paris, 1687, p. 213.
(2) *Anat. microscop. de la rate dans l'homme et les mammifères*, 1843.
(3) *Eléments d'histologie humaine*. trad. franç., p. 491.
(4) *Unters. über die Gewebsel. der glatten Muskeln und über die Existenz dieser Muskeln in der menschlichen Milz*. Kiew, 8 mai 1852.
(5) *Ouvr. cit.*
(6) *Ouvr. cit.*, p. 224.

elle de l'homme : cela tient sans doute à ce que, dans l'espèce humaine, e le plus souvent des rates d'individus ayant succombé à des maladies abstinence prolongée ; car, sur les individus morts subitement, les s ne manquent jamais.

ne de ces corpuscules est variable ; il offre en moyenne 0mm,36. Un ériel de 0mm,04 à 0mm,09 de diamètre en porte environ de 5 à 10, observations de Kölliker (1). Ils se composent, suivant lui, d'une d'enveloppe incolore, transparente, épaisse de 0mm,002 à 0mm,005, et tout par deux contours entre lesquels on aperçoit encore çà et là des entriques. L'enveloppe des corpuscules adhère intimement à la gaîne qui les supportent, et offre d'ailleurs avec cette gaîne une grande ana- ucture. Les corpuscules n'ont point d'épithélium à leur surface interne : nplis par une substance liquide, visqueuse, gris blanchâtre, substance t de l'albumine, un grand nombre de cellules arrondies et pourvues la n seul noyau ; on peut aussi y trouver des noyaux libres et parfois des nguins, modifiés ou non, libres ou emprisonnés dans des cellules. On quelquefois des petits vaisseaux sanguins dans l'intérieur des corpus- rate du chat, du cochon, de la brebis et même de l'homme. — Les s de Malpighi sont des vésicules closes qu'on a considérées parfois véritables follicules glandulaires.

Gerlach (2), les pédicules auxquels sont appendus les corpuscules de nt des rameaux artériels qui s'épanouissent en capillaires sur les parois corpuscule, et qui passent de là dans la pulpe splénique où ils s'ana- avec les veines.

nt les rapports de ces corpuscules ou de ces vésicules avec le système e de la rate ? Le même observateur prétend que plusieurs vésicules raissent communiquer entre elles par de petits canaux qui donnent contenu vésiculaire, quand on exerce sur elles une pression. Ces t Gerlach, ne peuvent être que des vaisseaux lymphatiques ; aussi que les vésicules de Malpighi sont de simples renflements variqueux ux lymphatiques.

rnière opinion a été défendue par Schaffner (3). Pour Bourgery (4), uscules de la rate sont recouverts par des lymphatiques nombreux. Ils eliés par des lymphaticules, de sorte que chacun de ces petits organes est le nœud de jonction des trois ou quatre lymphatiques qui établissent ses ations avec les corpuscules voisins ou avec les grands rameaux. »

splénique est une substance demi-liquide, couleur lie de vin, qui, lomérules et les dernières ramifications des vaisseaux, remplit l'espace entre les trabécules. La pulpe splénique se liquéfie rapidement par tion : il suffit alors d'un léger courant d'eau pour la chasser complé- siége qu'elle occupe ; on l'obtient aussi très facilement avec le raclage. ère a été longtemps considérée par les anatomistes comme étant du lé : ils l'appelaient *liquide splénique* ou sang splénique. — Asso-

cit., p. 494.
hr. für rat. Med. t. VII, 1849. — *Handbuch der Gewebelehre*, p. 218.
hr. für rat. Med., 1849, t. VII, p. 345.
cit., p. 21.

lant (1) disait que ce sang splénique ne différait du sang ordinaire que par une viscosité plus grande, qui lui donnait une apparence gélatineuse. Ce liquide a été analysé plusieurs fois. L'analyse la plus récente est due à Scherer (2), qui y a trouvé une substance particulière qu'il nomme *liénine*. Cette substance est incolore et cristallisable, et se compose de : carbone, 53,71; hydrogène, 8,95; azote, 4,82; oxygène, 32,52 = 100,00. Le même chimiste a aussi noté la présence des acides lactique, acétique, formique, butyrique, urique, hypoxanthique; d'une matière albuminoïde riche en fer; d'une grande quantité de ce métal uni aux acides acétique et lactique, et enfin d'une matière pigmentaire.

Des observations microscopiques récentes ont démontré que la pulpe splénique est formée : 1° de la terminaison ultime des artères, de l'origine des veines et des vaisseaux lymphatiques; 2° de trabécules représentant assez exactement, en petit, les dispositions des cloisons fibreuses précédemment décrites; 3° de sang extravasé en plus ou moins grande quantité, ce qui donne à la pulpe splénique une couleur plus ou moins foncée; 4° d'un parenchyme spécial de cellules décrites sous le nom de *cellules parenchymateuses* de la rate. Ce sont des cellules à noyau, rondes, de 0mm,007 à 0mm,011 de diamètre.

Entre les cellules se rencontrent des noyaux libres, d'autres cellules plus grandes que les premières (0,012 à 0,015), très pâles et qui paraissent n'être que les globules blancs du sang. Enfin s'y trouvent aussi des corpuscules très irréguliers, d'un rouge brun ou d'une teinte cuivrée. Ces corpuscules sont, pour Kölliker (3), des globules rouges du sang en voie de décomposition, et les changements de couleur indiquent à quelle période ils sont arrivés de leur dissolution. Ces derniers globules se réunissent par groupes, s'entourent bientôt d'une cellule de 0mm,011 à 0mm,033 de diamètre, deviennent des granulations pigmentaires, se dissocient de nouveau, puis disparaissent après être devenus complétement incolores.

Les artères de la rate viennent d'une même source, de l'*artère splénique* qui naît du tronc cœliaque. Arrivée à la scissure de la rate, cette artère se divise en quatre ou cinq gros troncs qui pénètrent le parenchyme de l'organe dans des directions variées. Assolant (4) a démontré, le premier, que si l'on injecte isolément chacun de ces troncs, ils ne communiquent pas entre eux, en sorte que la rate est divisée en plusieurs compartiments. Nous avons déjà vu que sa capsule fibreuse fournit une gaîne aux artères jusqu'à leurs plus fines divisions.

La division des branches artérielles dans la rate n'est pas régulièrement dichotomique. Des rameaux d'un volume variable se détachent à angle droit des troncs principaux. Les grosses branches, à peine entrées dans la rate, se divisent en une touffe de rameaux : lorsque les artères n'ont plus que 0mm,5 à 0mm,2 de diamètre, elles abandonnent la veine correspondante, s'appuient sur les trabécules, reçoivent à leur surface les corpuscules de Malpighi, et là se partagent en deux faisceaux, l'un qui se distribue sur le corpuscule et le pénètre même quelquefois, l'autre qui se rend dans la pulpe splénique où il s'anastomose avec les radicules des veines.

La *veine splénique* est remarquablement plus volumineuse que l'artère. L'origine de la veine splénique dans la rate a vivement excité la sagacité d'un gr

(1) *Bibliothèque médicale*, t. VI, 1804, p. 288.
(2) *Thèse cit.*, p. 57.
(3) *Ouvr. cit.*, p. 498.
(4) *Mém.* et *Rec. cit.*

nombre d'anatomistes. L'opinion la plus ancienne, celle de Malpighi, consistait à faire naître les veines dans les cellules spléniques, qu'il considérait comme des appendices des veines. Ruysch (1), d'après ses injections, déclara que la substance de la rate humaine n'était qu'une agglomération d'artères, de veines, de vaisseaux lymphatiques et de nerfs, environnés et réunis par des membranes. Il nia l'existence des corpuscules et des cellules de la rate. Quant aux anatomistes modernes, ils sont à peu près unanimes pour reconnaître que les divisions ultimes des veines se comportent dans la rate comme dans tous les autres organes.

Les observateurs sont loin de s'entendre sur la disposition des *vaisseaux lymphatiques*. Les uns (Bourgery, Tiedemann et Gmelin, etc.) considèrent la rate comme essentiellement formée par des vaisseaux et des ganglions lymphatiques ; les autres [Sappey (2), Kölliker (3)] nient à peu près l'existence de lymphatiques superficiels, et n'admettent qu'un petit nombre de lymphatiques profonds. Ceux-ci, se réunissant en cinq ou six troncs dans le hile de la rate, traversent quelques petites glandes lymphatiques placées à ce niveau, et vont ensuite se jeter dans le canal thoracique à la hauteur de la deuxième vertèbre lombaire. — Les *nerfs* naissent du plexus solaire et se distribuent dans la rate en accompagnant les artères jusque sur les vésicules de Malpighi et dans la pulpe splénique où leur mode de terminaison n'est point connu.

II. — Si l'on passe en revue les diverses théories rationnelles qu'on a proposées sur les fonctions de la rate, il est facile de reconnaître qu'elles peuvent être rapportées à deux principales : 1° la rate remplit des fonctions mécaniques ; 2° la rate est un organe d'élaboration et de transformation.

En examinant la succession des hypothèses dont il s'agit, on s'aperçoit qu'elles ont suivi les progrès de l'anatomie et le perfectionnement des moyens d'observation. Les anciens n'avaient aucune notion de la texture intime des organes, aussi ont-ils attribué à la rate les usages les plus bizarres (*). — Mais bientôt on reconnaît que la rate est un organe extensible, rempli de cellules communiquant toutes entre elles et pouvant recevoir une énorme quantité de sang : c'est alors que ce viscère est considéré comme un diverticulum pour les vaisseaux de l'estomac seulement, ou même pour le système vasculaire tout entier. — Puis Malpighi fait faire un grand pas à l'anatomie de texture ; il découvre dans la rate des corpuscules qui lui sont propres, et dont l'existence tend à faire rejeter la précédente opinion, comme trop exclusivement mécanique : ces corpuscules ou glandules vont avoir pour but de *sécréter* un principe spécial susceptible de modifier le sang splénique, afin qu'il puisse servir à la formation de la bile ou convertir les globules du chyle en globules sanguins, etc.

(1) *Opuscul. anat. de fabr. gland. in corp. hum.* Amsterdam, 1733, in-4°.
(2) *Anat. descript.* Paris, 1859, t. III, p. 331.
(3) *Loc. cit.*

(*) Ces théories anciennes sur les usages de la rate sont nombreuses et ont été consignées, pour la plupart, dans les *Elementa physiologiæ* de HALLER. — C'est ainsi que Galien considérait la rate comme un organe sécréteur de l'atrabile ; pour Pline, elle était le siége du rire et de la joie ; pour d'autres, le siége de la mélancolie ; pour Van Helmont, de l'âme sensitive. — Les uns pensaient qu'elle faisait subir une élaboration particulière au sang qui se rend aux parties génitales, et qu'elle était le siége de l'appétit vénérien ; les autres, qu'elle sécrétait un suc excitateur des mouvements du cœur, ou une humeur synoviale lubrifiant les viscères abdominaux, ou bien encore un liquide propre à adoucir la bile, à échauffer le sang, à l'atténuer. — La rate était pour ceux-ci l'organe du sommeil ; et, selon ceux-là, elle produisait un acide transmis à l'estomac par les vaisseaux courts, etc. *Il serait inutile de s'attacher à combattre de pareilles opinions qui ne reposent sur aucune base.*

Mais il devait naître dans l'esprit de quelques observateurs que les deux précédentes manières de voir pouvaient bien ne pas s'exclure; aussi a-t-on eu des opinions mixtes qui attribuent des fonctions différentes à la partie dilatable et contractile de la rate et à sa partie glandulaire : à la première serait réservé un rôle purement mécanique, et à la seconde un rôle d'élaboration.

Enfin, suivant toujours les progrès de l'anatomie, on voit une nouvelle idée surgir des recherches microscopiques le plus récemment faites sur la rate : cette idée se rattache d'ailleurs à la théorie qui regarde la rate comme un organe de transformation. L'observation y fait découvrir des granulations de couleur et de forme variables, qui se groupent de différentes manières, etc. : Kölliker, et, avec lui, un assez grand nombre de physiologistes croient trouver dans ce fait la preuve que la rate a pour principal usage de détruire les globules sanguins, au lieu de contribuer à leur formation, comme on l'avait supposé auparavant.

A. — C'est une opinion déjà ancienne que celle qui représente la rate comme un *diverticulum* pour le système vasculaire de l'estomac, et même pour celui de tout le corps. Mais, nous l'avons dit, l'existence et la disposition des corpuscules de Malpighi tendent à démontrer que la rate ne saurait remplir exclusivement un rôle aussi subalterne que celui de réservoir.

Hodgkin (1) a de nouveau soutenu et développé une théorie analogue : considérant la structure et la situation de la rate, les causes qui la rendent malade, l'influence de ses maladies sur la santé générale, et le résultat de quelques expériences faites sur les animaux, il pense que la rate sert à prévenir les inconvénients qui pourraient résulter d'un trouble soudain dans le rapport qui existe entre la capacité et le contenu du système sanguin. Dans l'opinion de cet observateur, la destination de la rate a quelque rapport avec celle des tubes de sûreté et des soupapes dans plusieurs appareils chimiques et mécaniques; elle correspondrait au tube moyen de l'appareil de Wolf.

Quelques années plus tard, Dobson (2) donna son assentiment à cette même théorie, en l'appuyant d'expériences exécutées sur des chiens dans les conditions suivantes : — 1° Quatre heures après un fort repas, il examina la rate d'un de ces animaux ; elle était volumineuse et dure. — 2° Cinq heures après un repas aussi copieux que le précédent, il mit à nu la rate d'un autre chien de même taille; elle était plus volumineuse et plus dure encore que celle du premier. — 3° Après douze heures d'un jeûne absolu, il observa la rate d'un troisième chien de même taille; elle était flasque, d'un volume beaucoup moindre et contenait une très petite quantité de sang. — Dans une autre série d'expériences, Dobson fit prendre une abondante nourriture à un chien auquel il avait préalablement enlevé la rate. Vers la quatrième heure qui suivit le repas, l'animal commença à manifester du malaise; à la cinquième heure, il tomba dans la torpeur et offrit tous les signes d'une trop grande plénitude du système vasculaire. Bientôt les accidents diminuèrent; ils avaient disparu complétement douze heures après le repas.

Dobson conclut de ses diverses expériences que la rate agit comme un réservoir ou un *diverticulum*, pour contenir le surplus du sang que la digestion fait affluer dans le système vasculaire : à mesure que la digestion s'opère et que les

(1) *Journal complém. du Dict. des sciences médicales*, t. XIV, 1822, p. 89.

(2) *An experimental Inquiry* into the Structure and Functions of the *Spleen* (*Archiv. gén. de méd.*, 1re série, 1830, t. XXIV, p. 431).

différentes sécrétions s'accomplissent, la masse du sang diminue, et celui qui momentanément distendait la rate rentre dans la circulation générale.

Une opinion mixte, qui attribue à la rate un rôle mécanique et qui en fait aussi un organe d'élaboration, a été émise récemment par Beau (1). La rate, dit-il, considérée comme organe glandulaire, fournit les liquides veineux et lymphatique, en sorte que ce viscère est chargé d'une double élaboration : d'un côté, par le sang veineux, il modifie les aliments qui ont pénétré dans le système de la veine porte, et les dispose à subir l'élaboration de la sanguification hépatique ; d'un autre côté, par la lymphe particulière qu'il envoie au canal thoracique, il modifie également le chyle et le rapproche de la nature du sang. Beau n'est pas éloigné de penser que le sang veineux splénique, caractérisé par une fibrine déliquescente, est ainsi transformé par un liquide que sécrètent les grains glanduleux de la rate (corpuscules de Malpighi). — Considérée comme organe dilatable et contractile, la rate peut remplir, suivant le même observateur, à l'égard du système porte, l'office d'un véritable cœur à impulsion continue ; mais ce cœur n'agit que lorsque la colonne sanguine de la veine porte, entravée dans son mouvement, a besoin d'un surcroît de propulsion pour pouvoir traverser le foie.

B. — Malpighi, n'accordant aucune confiance à toutes les théories plus ou moins bizarres émises par ses devanciers, essaya de déterminer les usages de la rate à l'aide de l'expérimentation. Il enleva ce viscère à un chien qui survécut à l'opération ; mais aucun changement ne survint dans la santé de l'animal (*), et l'autopsie n'apprit rien à Malpighi, qui dut se borner à faire des conjectures. Il pensa que le sang qui sort de la rate a acquis une vertu particulière qui se communique ensuite à la masse totale de ce fluide. Ce changement, d'après lui, s'opère dans les cellules, et l'agent modificateur est apporté par les artères ou bien encore par les nerfs qu'il considère comme canaliculés et contenant le suc nerveux. Cette modification du sang a pour but, suivant Malpighi, de faciliter la sécrétion et l'excrétion de la bile, de mélanger plus intimement le chyle et le sang, et par là de présider à toutes les sécrétions : « C'est, dit-il à propos de la précédente modification, un baume universel qui nourrit, fortifie et conserve absolument toute la masse du sang (2). »

Il est difficile de comprendre que l'ingénieux Malpighi ait attribué une aussi grande importance à la rate, puisque ses expériences lui avaient démontré que l'extirpation de ce viscère peut n'amener aucun changement dans la santé de l'animal qui l'a subie.

Une opinion, qui dérive de la précédente, considère la rate comme servant essentiellement à l'hématose. W. Hewson (3), puis Tiedemann et Gmelin (4), Bourgery (5), Donné (6), etc., ont adopté cette opinion, en l'interprétant d'une manière un peu différente dans les détails.

Hewson attribue à la rate le rôle de fournir aux noyaux sanguins, formés dans le thymus et les glandes lymphatiques, une enveloppe et une matière colo-

(1) *Archiv. gén. de médecine*, 4e série, 1861.

(*) La même innocuité a été reconnue par la plupart des expérimentateurs qui, depuis Malpighi, ont pratiqué l'ablation de la rate.

(2) *Ouvr. cit.*, trad. franç., p. 273.

(3) *Experimental Inquiries*, part. III, p. 107, in-8. London, 1777.

(4) *Recherches sur les fonctions de la rate*, trad. franç. de Heller. Paris, 1831, p. 80.

(5) *Loc. cit.*

(6) *De l'origine des globules du sang, de leur mode de formation et de leur fin* (*Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris*, séance du 7 mars 1842).

rante rouge (hématosine). Il suppose que cette matière est sécrétée par les artères spléniques, et que les globules sanguins, ainsi constitués, sont repris par les lymphatiques et portés dans le canal thoracique pour aller se perfectionner ultérieurement dans le reste du système circulatoire.

Fr. Arnold (1), C. H. Schultz (2), etc., ayant trouvé des globules sanguins tout formés ou en train de se former dans la rate, en ont conclu que cet organe est appelé à transformer les globules du chyle en globules du sang.

Quant à Tiedemann et Gmelin (3), ils croient que la transformation des globules du chyle n'a pas lieu dans la rate, mais dans l'appareil circulatoire général. De leurs expériences, faites sur trois chevaux et sur un chien, ils tirent les conclusions suivantes : La rate est un viscère qui est en rapport très intime avec le système absorbant; elle est destinée à séparer du sang artériel un fluide coagulable, qui est pris ensuite par les vaisseaux absorbants et porté dans le canal thoracique. La sécrétion de ce fluide et son introduction dans le canal thoracique ont pour but d'assimiler le chyle à la masse du sang.

Sur une chienne à laquelle ces deux observateurs avaient extirpé la rate depuis dix-huit jours, ils trouvèrent, à l'autopsie, tous les ganglions lymphatiques de l'abdomen très injectés de sang et beaucoup plus volumineux qu'à l'état normal; d'où ils conclurent que la rate et les ganglions lymphatiques doivent être solidaires dans leur rôle, et que sans doute ces derniers peuvent suppléer la rate dans ses fonctions. C'est ainsi que, dans leur opinion, s'expliquerait l'innocuité de l'*extirpation* de cet organe pratiquée par un assez grand nombre d'expérimentateurs.

Donné (4) arriva aussi, de son côté, à faire jouer à la rate un rôle important dans l'hématose, en s'appliquant à rechercher le mécanisme qui ferait passer, suivant lui, les globules du chyle à l'état de globules blancs, et ceux-ci à l'état de globules rouges. « C'est la rate, dit-il, qui paraît être spécialement chargée de cette transformation ; c'est du moins dans cet organe que l'on trouve le plus grand nombre de globules blancs à tous les degrés de formation. »

Bourgery (5), comme Tiedemann et Gmelin, assimile, au point de vue fonctionnel, la rate à un ganglion lymphatique.

Les théories qui nous restent à faire connaître sont basées principalement sur l'examen microscopique de la pulpe ou du sang splénique. Depuis une quinzaine d'années environ, des recherches assez nombreuses ont été accomplies dans cette voie nouvelle.

Les opinions le plus récemment débattues sur le rôle physiologique de la rate peuvent se rattacher à deux principales : dans l'une, on prétend que les globules du sang sont détruits par la rate ; dans l'autre, on soutient que ces globules y prennent naissance, dernière opinion qui n'est qu'une variante de celle de Hewson. Les partisans de chacune de ces théories partent de l'observation des mêmes faits qu'ils interprètent d'une manière différente.

La première théorie, ou théorie dite *régressive*, a pour principal représentant Kölliker; la deuxième, ou théorie *progressive*, a été reprise et soutenue surtout par Gerlach.

(1) *Lehrbuch der Physiologie*, t. II, p. 164.
(2) *Das System der Circulation*, etc., p. 47. Stuttgard, 1836.
(3) *Loc. cit.*
(4) *Rec. cit.*, t. XIV, p. 368, année 1842.
(5) *Loc. cit.*

Œsterlen (1), Remak (2), et Handfield Jones (3) avaient déjà signalé, dans la rate de plusieurs animaux, des corpuscules variés d'aspect, de forme et de couleur ; mais ils n'avaient trouvé aucune explication de ce fait digne de remarque. En juin 1847, Kölliker (4) aperçut dans la pulpe splénique des cellules renfermant des globules du sang et des corpuscules de couleur et de forme variables : il les considéra comme provenant de métamorphoses des globules sanguins.

D'après cet habile observateur, les globules du sang, extravasés dans les aréoles, deviennent plus petits, plus foncés, et en même temps ils se réunissent en amas arrondis : tantôt ces amas persistent dans l'état où ils se sont formés ; tantôt, par l'addition d'une petite quantité de plasma, par l'apparition d'un noyau dans l'intérieur du groupe et le développement d'une membrane d'enveloppe, ils se transforment en *cellules arrondies contenant des globules sanguins.* Or, ces cellules, qui contiennent de 1 à 20 globules sanguins, passent successivement du jaune doré au rouge brun et au noir, et deviennent des granulations pigmentaires, aussi bien que les globules sanguins eux-mêmes qui se rapetissent de plus en plus, changent de couleur et puis enfin disparaissent par leurs transformations mêmes.

Ces transformations des globules du sang doivent-elles être considérées comme un phénomène physiologique ou pathologique? Kölliker (5) se rattache actuellement à cette dernière opinion. « Plus, dit-il, j'envisage le phénomène dans sa généralité, plus je suis porté à penser que la série des transformations des globules du sang dans le parenchyme splénique n'appartient pas à l'état normal, et que, si la rate est un organe dans lequel les globules du sang se détruisent normalement, ce phénomène ne peut s'accomplir que dans l'intérieur des vaisseaux. Que cette destruction ait lieu réellement dans la rate, bien plutôt que dans le foie, je le crois encore aujourd'hui, mais j'abandonne définitivement l'idée d'appuyer cette doctrine sur les faits qui en avaient d'abord éveillé en moi la pensée, c'est-à-dire sur l'apparition fréquente des globules sanguins en voie de décomposition dans la pulpe splénique. »

Les recherches d'Ecker (6) et de Landis (7), faites à la même époque que celles de Kölliker, tendaient à confirmer l'ancienne manière de voir de cet investigateur. Mais, en 1848, Virchow (8) lui objecta qu'il n'avait jamais trouvé de cellules renfermant des globules sanguins ; que celles qu'on observe dans le parenchyme de la rate sont des cellules préexistantes et infiltrées d'hématine ; que les globules du sang se réunissent quelquefois en petits groupes dont les bords sont transparents, ce qui en impose pour une membrane enveloppante ; qu'enfin tout ce que l'on connaît sur la formation des cellules en général s'oppose à ce qu'on leur assigne une pareille origine.

Virchow reconnaît toutefois que les globules du sang peuvent subir une dissolution dans la rate ; mais, avec Hewson, il pense qu'ils y prennent aussi naissance. C'est également l'opinion de Tigri (9).

(1) *Beiträge*, etc., 1843.
(2) *Pathogn. und Diagn. Untersuch.*, 1845, p. 117.
(3) *London Medical Gazette*, janvier 1847.
(4) *Ueber den Bau und die Verrichtungen der Milz* (in *Mittheil. der Züricher Nat. Gesellschaft*, juin 1847.
(5) *Eléments d'histologie*, trad. franç. Paris, 1856, p. 499.
(6) *Zeitschr. für. rat. Med.* 1847, VI, p. 261.
(7) *Beiträge zur Lehre über die Verrichtungen der Milz.* (dissert. inaug.). Zurich, décembre 1847.
(8) *Archiv für. Anat., Phys. und Path.*, 1848, I, p. 379.
(9) *Della funzione della milza*, 1848 et 1849.

Kölliker, dont la doctrine était attaquée en Allemagne par Virchow, trouva à la même époque un défenseur en France dans J. Béclard (1) qui, ayant analysé le sang de la veine splénique et le sang des jugulaires, trouva dans cette analyse des différences desquelles il tira les conclusions suivantes. — Le sang de la veine splénique renferme moins de globules que le reste du sang veineux ; — il contient une plus grande quantité d'albumine et aussi de fibrine. — Les globules du sang éprouvent une dissolution dans la rate.

Les principaux auteurs qui ont adopté la théorie opposée ou *progressive* sur les fonctions de la rate sont : Gerlach (2), Schaffner (3), Funke (4), Beck (5), J. Bennett (6), etc. Ils ont reconnu, comme Kölliker, que la rate renferme des cellules où se trouvent des globules de sang à différents états de développement, mais ils donnent à ce fait une interprétation tout opposée : car, au lieu de penser que ce sont des globules en voie de dissolution, ils croient au contraire que ce sont des globules en voie de formation.

De recherches ultérieures Kölliker a conclu que la rate n'a pas seulement pour fonction de dissoudre les globules sanguins, mais encore d'élaborer (à l'aide des corpuscules de Malpighi probablement) certaines substances portées ensuite dans le torrent de la circulation par les lymphatiques et les veines. — Führer et Ludwig (7) admettent aussi que les globules du sang sont détruits dans l'organe indiqué ; mais ils pensent de plus que l'*urée* est un des principaux produits qui résultent de cette destruction des précédents globules dans la rate.

C. — La rate change rapidement de volume sous une influence pathologique ; le fait est incontestable. Mais y a-t-il dans la rate des changements de volume qui s'accomplissent normalement, par exemple à chaque digestion ? Les expériences paraissent assez nombreuses et assez convaincantes pour que l'on puisse répondre par l'affirmative. En effet, nous avons dit que, ayant examiné trois chiens, dont deux quatre et cinq heures après un repas copieux, et le troisième après douze heures de jeûne (les trois chiens étant de même taille), Dobson trouva la rate des deux premiers noire, gorgée de sang et beaucoup plus volumineuse que la rate du troisième, qui était molle, grisâtre et comme flétrie. Piorry a prétendu pouvoir se rendre un compte exact des différences de volume de la rate à l'état physiologique, en administrant du sulfate de quinine et percutant presque immédiatement la région splénique. Mais les expériences de Stinstra (8), qui sont plus récentes, tendent à prouver que le sulfate de quinine n'a pas d'influence sur la contractilité de la rate *saine*.

Goubaux (d'Alfort) a fait, sur des chevaux et des chiens, des expériences qui démontrent que la rate augmente de volume pendant l'absorption des boissons. Après avoir pratiqué l'œsophagotomie, lié le pylore et mis la rate à découvert sur un chien, il mesura la rate, qui offrait 10 centimètres en longueur

(1) *Arch. génér. de méd.*, 4e série, t. XVIII. — *Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris*, 3 janvier 1848.

(2) *Zeitschr. für. rat. Med.*, 1849, t. VII, p. 75.

(3) *Zeitschr. für. rat. Med.*, 1849, t. VIII, p. 345.

(4) *De sanguine venæ lienalis* (dissert. inaug.). Lipsiæ, april. 1851.

(5) *De structura et functione lienis* (*Untersuch. und Studien im Gebiete der Anat., Phys. und Chir.*, Karlsruhe, 1852, p. 81).

(6) *Monthly Journal*, mars 1852.

(7) *Archiv für Physiol.*, etc., de VIERORDT, 1855, p. 215-471.

(8) *Commentatio physiologica de functione lienis*. Leyde, 1859, p. 146. — Ce travail me paraît être le plus complet qu'on ait publié jusqu'à présent sur les usages de la rate.

et 4 centimètres 5 millimètres en largeur, puis il injecta dans l'estomac un demi-litre d'eau environ. Cinq minutes après, la rate avait augmenté d'un centimètre en largeur et en longueur ; l'augmentation continua pendant une heure. La rate offrait alors 15 centimètres en longueur et 7 centimètres dans l'autre sens.

Goubaux a remarqué que, chez les chiens (il en est probablement de même chez les autres animaux), le maximum d'ampliation que peut atteindre la rate après l'ingestion des boissons correspond exactement au volume qu'on peut lui donner par l'insufflation.

Quelle peut être la cause de cette augmentation de volume ? On a supposé que, par suite de l'abondance des liquides digestifs qui s'accumulent dans les veines et les intestins, dans la veine porte et le foie, ces organes opposent une résistance considérable à la pression du sang, et que par cela même ce fluide doit tendre à refluer dans la rate, organe facilement extensible qui acquiert un volume considérable. On a également admis que les veines du grand cul-de-sac absorbent le liquide introduit dans l'estomac et le portent dans la veine splénique. Alors le sang changerait son cours ; au lieu de se porter de la rate vers le foie, il rétrograderait et retournerait vers la rate. C'est une opinion à peu près semblable à celle qui veut que le sang de la veine porte puisse retourner au rein par la veine cave inférieure.

D. — La rate est un organe *contractile*, comme le démontrent des recherches encore récentes (*). Defermon (1) a observé que, si l'on fait prendre de la strychnine à un chien, et si l'absorption a lieu, la rate, qui est plate, se roule en spirale et présente des contractions fort énergiques. Des expériences confirmatives ont été faites, à l'aide de l'électricité, d'abord par R. Wagner (2). Elles ont été répétées, depuis, au sein de la Société de biologie (3) : on fit passer, vers les deux extrémités de la rate d'un chien vivant, le courant intense d'un appareil électro-magnétique, et, quelques minutes après, on constata qu'elle avait perdu 2 à 3 centimètres en longueur. Le courant dirigé dans l'axe transversal diminua également l'épaisseur de l'organe. Après avoir détaché la rate et l'avoir fixée par son pédicule à l'un des conducteurs de l'appareil électro-magnétique, il fut évident qu'à chaque contact de l'autre conducteur, elle éprouvait des mouvements d'ondulation et de torsion. Stinstra (4) a aussi conclu d'un assez grand nombre d'expériences faites avec l'électricité, que la rate est un organe doué de contractilité. Mais, nous l'avons dit déjà, cette propriété ne s'est point révélée à lui sous l'influence du sulfate de quinine ; ce résultat négatif tend à infirmer l'assertion émise par Piorry.

En *résumé*, il est impossible, à notre sens, de ne point reconnaître tout ce qu'il y a encore d'hypothétique dans la plupart des données qui précèdent sur le rôle de la rate, aussi bien que sur celui du foie, dans la destruction ou dans le renouvellement des globules sanguins. N'a-t-on pas vu ces globules se détruire, puis se renouveler chez des chiens ayant survécu à l'ablation de la rate sans altération de leur santé,

(*) Notamment celles de R. WAGNER, SIEBERT, DITTMAR et MAZONN (*loc. cit.*).

(1) *Bulletin des sciences médicales* de FÉRUSSAC, 1-2, 1824, p. 114.

(2) *Unters. über die Contractilität der Milz* (*Nachr. u. d. Göttinger Gelehrten Anzeigen*, etc., 1849).

(3) *Comptes rendus des séances et Mémoires de la Société de biologie*, t. I, p. 157.

(4) *Mém. cit.*, p. 141 et 146.

et chez des grenouilles privées de leur foie? Vouloir absolument localiser les phénomènes dont il s'agit, en leur assignant le système capillaire de tel ou tel organe particulier, nous semblerait donc une exagération. Les globules sanguins disparaissent sans doute comme ils sont venus : il s'en forme constamment de nouveaux dans le plasma du sang de *tous les organes*, et quand ils y ont parcouru un certain cercle de métamorphoses, quand ils ont atteint un certain âge, ils se dissolvent dans ce plasma en général, absolument de même que d'autres cellules (par exemple les cellules glandulaires) se dissolvent d'elles-mêmes lorsqu'elles sont parvenues à un degré déterminé de développement, ou bien crèvent en laissant échapper leur contenu. En d'autres termes, le contenu des globules hématiques doit pouvoir retourner dans le plasma du sang partout où ces corpuscules s'étaient d'abord développés, sans que, jusqu'à présent, on soit suffisamment autorisé à désigner un organe plutôt qu'un autre comme siége d'un pareil phénomène (*).

Tout porte à croire que la rate est le siége d'une sécrétion particulière dont le produit, faute de canaux excréteurs, rentre dans la circulation par voie d'absorption ; mais, jusqu'ici, on ignore et la nature et le rôle du produit d'une pareille élaboration. La rate, organe dilatable et contractile, paraît tout à la fois un diverticulum sanguin, et un centre d'impulsion pouvant concourir à pousser le sang de la veine porte à travers le foie.

DES CAPSULES SURRÉNALES ET DE LEURS FONCTIONS.

I. — Les *capsules surrénales* se rapprochent, par leur structure, des glandes vasculaires sanguines. La richesse de leurs appareils nerveux et vasculaire semble tout d'abord indiquer qu'elles ont un rôle important à remplir dans l'économie.

Leur texture intime a été l'objet de travaux assez nombreux, dus notamment à C. Bergmann (1), Ecker (2), Leydig (3), Kölliker (4), et G. Harley (5).

Les capsules surrénales sont constituées par une mince enveloppe de tissu conjonctif de la face interne de laquelle partent de nombreuses cloisons, et par un parenchyme composé de deux substances, l'une *corticale*, l'autre *médullaire*. La première de ces substances est elle-même formée de deux couches : l'une, externe, d'un jaune pâle ; l'autre, interne, colorée assez fortement en brun. La substance médullaire, plus claire, gris jaunâtre, est surtout abondante à la partie moyenne de la capsule (2 à 3 millimètres d'épaisseur).

La *substance corticale* est constituée par du tissu conjonctif interceptant des alvéoles décrits par Ecker sous le nom d'*utricules glandulaires*. Leur contenu comprend un plasma riche en albumine, des cellules, des noyaux et de nombreuses particules graisseuses. Ces alvéoles sont entourés d'un réseau vasculaire très abondant, mais qui ne pénètre jamais dans l'épaisseur de la paroi.

(*) Comme recherches tendant à faire rejeter l'opinion que *la rate serve plus spécialement qu'un autre organe*, soit à la destruction des globules sanguins, soit à leur formation, consultez surtout celles de : REMAK, *Müller's Archiv*, 1851. — SANDERSON, *Monthly Journal*, septembre 1851. — HLASEK, *Disquisitiones de structura lienis* (diss. inaug.). Dorpati, 1852. — SANDERS, *Gerlsir's Annals of Anat. and Physiol.*, 1850, t. I, p. 49, et t. II, p. 89.

(1) *Dissert. de glandulis supra-renal.* Göttingen, 1839.
(2) WAGNER'S *Handwört. d. Physiol.*, IV, 1849, art. *Blutgefässdrüsen*.
(3) *Beitr. zur Anat. d. Rochen*, etc., 1852.
(4) *Éléments d'histologie humaine*, p. 517 et suiv., trad. franç. Paris, 1856.
(5) *Histology on the Supra-renal Capsules* (*The Lancet* of June, 5th and 12th, 1858).

Harley, qui a fait une étude consciencieuse de la structure des capsules surrénales, recommande de mettre en usage des coupes extrêmement fines de ces organes préalablement durcis à l'aide de l'acide chromique; on rend ensuite ces coupes transparentes au moyen de la glycérine. Or, quand on étudie ces coupes avec un grossissement de 80 diamètres, on constate aisément que la substance corticale est composée de nombreuses cellules disposées en rangées de volume régulier. Ces rangées ressemblent à des colonnes de couleur jaune foncé; elles sont perpendiculaires à la surface de la capsule, et se terminent assez brusquement au bord de la substance médullaire. Si l'on a recours à un grossissement de 400 diamètres, on voit alors que les cellules qui constituent les rangées précédentes ont 1/70e à 1/40e de millimètre, et qu'elles sont composées d'une membrane enveloppante, de granulations, de matière colorante, d'un nucléole et d'une quantité plus ou moins grande de globules huileux. — Sur une bonne coupe, dit Harley, on reconnaît que les cellules ont un arrangement défini : elles constituent des masses disposées en rangées parallèles présentant l'aspect de colonnes. Les colonnes, quelquefois très courtes, occupent dans certains cas toute l'épaisseur de la substance corticale; leur largeur, au contraire, est assez uniforme. Chaque colonne, ou amas de cellules, est séparée des autres parties par un tissu fibreux interposé, dérivant de la capsule fibreuse qui enveloppe l'organe. Dans les cas où toutes les colonnes traversent l'épaisseur entière de la substance corticale, on croirait avoir affaire à un tube, opinion soutenue par divers observateurs.

Lorsqu'on pratique des coupes perpendiculaires à la direction de ces sortes de colonnes, on constate que les terminaisons des amas cellulaires, en forme de colonne, apparaissent comme des espaces ronds ou ovalaires remplis de cellules. Les espaces ronds, qui renferment les cellules, varient de 1/40e à 1/13e de millimètre, et contiennent ordinairement d'une à cinq cellules; ils sont quelquefois très intimement unis ensemble, et d'autres fois laissent entre eux des lacunes plus ou moins considérables.

Harley rejette l'opinion de Kölliker consistant à ne regarder les cavités qui renferment les cellules que comme de simples alvéoles creusés aux dépens de l'organe, et n'ayant aucune membrane pour limite. Il pense que les alvéoles sont enveloppés d'un tissu homogène qui, après quelques semaines de séjour dans la glycérine, devient généralement facile à observer.

Quelquefois toutes les cellules se détachent ensemble de l'alvéole, et paraissent maintenues par une matière qu'on ne peut apprécier.

Quant à la *substance médullaire*, dont la couleur est d'un gris d'ardoise claire, elle n'offre pas de cellules disposées en forme de colonnes, mais ressemble plutôt à une masse uniforme de cellules, limitées de chaque côté par les colonnes corticales. A son centre se voient de très nombreuses ouvertures, qui lui donnent un aspect caractéristique, et qui ne sont autres que les orifices de ses sinus.

Si, à l'exemple de Harley, on emploie un grossissement de 400 diamètres, on reconnaît que cette substance est composée de fibres réticulaires, dans les mailles desquelles se trouvent des cellules larges, de couleur pâle, et des nucléoles ronds. Les cellules sont isolées en petits groupes environnés de fibres; ceux-ci n'offrent aucune membrane enveloppante, et ne se laissent détacher des fibres qu'avec une certaine difficulté.

Ecker indique le réseau qui renferme les cellules comme composé de fibres de tissu conjonctif, de vaisseaux et de nerfs très nombreux.

Ces cellules ont été considérées comme ressemblant aux corpuscules ganglionnaires ; elles renfermeraient un contenu finement granulé, avec quelques rares granulations graisseuses ou pigmentaires. Il est vrai, selon Harley, que cet aspect peut se présenter lorsqu'on les examine en pelotons : alors elles paraissent offrir le même diamètre, ont un nucléole bien marqué, et semblent avoir une sorte de queue (aspect dû à des portions du tissu réticulaire) ; mais, au dire de cet observateur, quand on les examine isolées, jamais on ne constate cette disposition.

Les cellules et les noyaux sont remplis et entourés de granulations. Les vaisseaux sont très nombreux et siégent dans le stroma de l'organe. Les *artères* forment deux réseaux : l'un à mailles allongées, pour la substance corticale ; l'autre à mailles plus arrondies, pour la substance médullaire. Les artères de la substance corticale, descendant le long des cloisons pour se rendre dans la substance médullaire, s'envoient de très nombreuses anastomoses transversales, de telle sorte que chaque amas de cellules, chaque colonne, est entouré d'un réseau vasculaire très abondant. D'autres vaisseaux artériels arrivent directement à la substance médullaire. Les *veines* naissent principalement du réseau capillaire de la substance médullaire.

Quelques rares ramuscules *lymphatiques* superficiels ont été aperçus sur la capsule surrénale. Au contraire, les *nerfs* sont très nombreux : ils viennent du plexus semi-lunaire et du plexus rénal, et semblent principalement destinés à la substance médullaire. D'après Pappenheim et Remak (1), ces nerfs ne seraient composés que de fibres embryonnaires, tandis que d'autres observateurs pensent qu'ils sont formés de tubes nerveux véritables. Chez le lapin, le cochon d'Inde, le chien et le chat, Brown-Séquard (2) n'a trouvé que très rarement quelques fibres à double contour, tandis que les fibres nerveuses très fines (fibres sympathiques de Bidder et Volkmann) y abondent.

Le développement des capsules surrénales coïncide avec celui des reins, mais il a lieu indépendamment du développement de ces derniers, aux dépens d'un blastème issu du feuillet moyen du blastoderme, suivant Remak. D'abord la capsule surrénale est plus grosse que le rein ; puis, au quatrième mois de la vie intra-utérine, elle présente le même volume que cet organe. A six mois, le poids de la capsule serait à celui du rein :: 2 : 5 ; chez le fœtus à terme :: 1 : 3 ; chez l'adulte : : 1 : 28 (J.-F. Meckel) (3). — A la naissance, le poids des capsules, dans l'espèce humaine, serait de 3gr,60. Comparé au poids du corps, il serait :: 1 à 475, et chez l'adulte : : 1 : 4800. Proportionnellement au rein, on obtiendrait les chiffres suivants : : 1 : 2 chez des fœtus de 8 mois, : : 1 : 14, 25, 30 chez l'adulte (Huschke).

II. — Pendant longtemps, on n'a possédé aucune notion sur les usages des capsules surrénales. Dans ces dernières années, depuis surtout la publication du remarquable travail de Th. Addison (4) sur une nouvelle affection dite *maladie bronzée*, des expériences assez nombreuses ont été entreprises, et la science

(1) HENLE, *Anat. génér.*, t. II, p. 585-6, traduct. franç. Paris, 1843.

(2) *Rech. expériment. sur la physiol. et la pathol. des capsules surrénales* (*Arch. génér. de méd.*, 5e série, octobre 1856, t. VIII, p. 388).

(3) *Manuel d'anat. génér. descript. et pathol.*, t. III, p. 592, trad. franç. de Jourdan et Breschet. Paris, 1825.

(4) *On the Constitutional and the Local Effects of Disease of the supra-renal Capsules.* London, 1855.

paraît avoir acquis quelques données physiologiques au sujet de ces organes.

Les capsules surrénales furent autrefois considérées comme un élément accessoire du système uropoiétique ; mais, comme elles ne suivent jamais les reins dans leurs déplacements congénitaux, cette manière de voir fut rejetée. Quelques observations firent aussi, mais à tort, songer à une relation entre ces organes et ceux de la génération.

Heim (1) et Naumann (2) pensèrent que les capsules surrénales jouent un rôle analogue à celui du thymus et de la rate ; qu'elles sont en rapport avec l'hématose, à cause de leurs nombreux vaisseaux. Naumann avança en outre qu'il existe, entre ces organes et le rein, le même rapport qu'entre la rate et le système de la veine porte : le sang veineux y serait en quelque sorte revivifié, à la sortie des reins, par le mélange du sang artériel qui afflue dans les capsules.

Se fondant sur ce que, chez les monstres acéphales, les capsules surrénales sont atrophiées (Hewson, Cooper, Klein, Rayer, etc.) ; puis, prenant acte de l'amincissement de ces organes observé à la suite de certaines affections de la moelle et du cerveau ; tenant compte aussi de leur richesse extrême en nerfs, Bergmann fils (3) conclut qu'ils représentent des ganglions nerveux. Il soutint aussi l'opinion que leur structure était analogue à celle de la moelle et du cerveau.

Cassan (4) avait noté que les capsules surrénales sont plus volumineuses chez les nègres que chez les Européens. Cette remarque, tout d'abord regardée comme insignifiante, a acquis une véritable importance, depuis les travaux modernes. J. F. Meckel (5) avait fait la même observation. Mais, au lieu d'établir une relation entre ce volume et la sécrétion pigmentaire, on se rattachait alors à cette idée, que le développement considérable de ces organes était en rapport direct avec celui des organes génitaux.

Enfin, en 1855, Addison (6) publia des faits tendant à établir que les capsules surrénales sont très importantes au point de vue physiologique ; que, de plus, il y a une relation entre leur absence ou la diminution de leur action et la quantité de pigment déposé dans la peau. Addison, étudiant certaines formes d'anémie qui ne lui semblaient pas pouvoir se rapporter aux causes indiquées jusqu'à présent, décrivit une affection caractérisée principalement par un état marqué d'anémie, une coloration brune ou bronzée de la peau, un affaiblissement remarquable des battements du cœur, une irritabilité très prononcée de l'estomac, etc. Alors, poursuivant sans relâche ses recherches anatomo-pathologiques, il parvint à saisir une certaine relation entre ces désordres et les altérations des capsules surrénales. Dans presque toutes ses autopsies, en effet, il constata des lésions graves, mais, il faut le dire, fort diverses de ces petits organes (capsules dures, pierreuses, fluides, renfermant des concrétions fibrineuses, de la graisse, de la matière tuberculeuse, de la matière cancéreuse, etc.). Presque toujours aussi il y avait d'autres organes altérés. Quoi qu'il en soit, Addison devait avoir de la tendance à conclure de ses observations que les capsules surrénales ont des fonctions indispensables à la vie, en voyant la mort survenir presque invariablement chez les individus atteints de la *maladie bronzée*, qu'il rattachait à une altération de ces capsules.

(1) *Dissertatio de renib. succentur.* Berlin, 1824.
(2) *Handbuch der med. Klinik*, t. VI, 1836.
(3) *Dissert. anat. et physiol. de glandulis supra-renalibus.* Göttingen, 1839.
(4) *Observations météorologiques faites sous la zone torride*, 1789.
(5) *Handbuch der path. Anat.*, t. I, p. 648.
(6) *Ouvr. cit.*

Ce fut alors que Brown-Séquard (1) entreprit des expériences sur les animaux, et arriva à la même conclusion que le pathologiste anglais. Ce physiologiste s'est en outre efforcé d'établir qu'il existe fréquemment, chez les lapins, une maladie presque toujours mortelle et constituée anatomiquement par une lésion des capsules surrénales.

J. Müller et Peipers (2) avaient déjà indiqué la grande *sensibilité* des plexus rénaux, lorsque Brown-Séquard, étudiant le degré de sensibilité des capsules surrénales, constata qu'elle était très vive chez les lapins (ces animaux crient lorsqu'on écrase leurs capsules entre les mors d'une pince) et moins développée chez les chats, les chiens et surtout chez les cochons d'Inde. Cet expérimentateur les considère comme les plus sensibles des organes abdominaux. De son côté, Gratiolet (3) n'a constaté aucun signe de sensibilité extraordinaire au moment où il agissait sur les capsules chez les cochons d'Inde.

J. F. Meckel (4) avait signalé le volume considérable des capsules proportionnellement à celui des reins pendant la vie embryonnaire, et ses observations furent confirmées par celles de Alex. Ecker (5) et de H. Frey (6), mais seulement chez l'homme. Se basant sur ces faits, Bischoff (7) semble croire que leurs usages se rapportent surtout à la vie embryonnaire. Mais, comme la remarque en a été faite justement, on devrait voir là tout au plus une preuve que leurs fonctions commencent plus tôt que celles des reins, car si la conclusion de cet auteur était juste, les capsules s'atrophieraient après la naissance, et au contraire leur développement continue. Chez l'homme, les chiens, les chats, les cochons d'Inde, elles gagnent en poids depuis la naissance jusqu'à l'âge adulte (8).

Certains faits tendent même à établir que ces organes ne sont pas essentiels à la vie embryonnaire, puisque, chez les monstres privés de tête ou d'encéphale, on ne les retrouve pas, ou que du moins ils sont dans un état rudimentaire. Les capsules surrénales ont paru également être moins utiles aux nouveau-nés qu'aux animaux adultes : il est vrai que, si la survie des premiers est beaucoup plus longue que celle des seconds après l'ablation de ces organes, cette différence peut tenir à une tout autre cause.

Indiquons maintenant les principaux résultats auxquels ont donné lieu les expériences nombreuses dans lesquelles divers physiologistes ont pratiqué l'ablation des capsules surrénales.

Ayant enlevé ou écrasé une *seule capsule*, Brown-Séquard a vu les animaux (lapins, cochons d'Inde, chiens et chats) mourir le plus ordinairement en moins de trois jours. Deux petits chiens étaient néanmoins parfaitement portants huit jours après l'opération, et rien n'annonçait leur mort prochaine. Mais, en définitive, ce physiologiste regarde la mort, en pareil cas, « sinon comme constante,

(1) *Archives gén. de méd.*, octobre et novembre 1856, 5e série, t. VIII, p. 385 et 572.
(2) J. MÜLLER, *Manuel de physiol.*, trad. franç., édit. de Littré, t. I, p. 619. Paris, 1851.
(3) *Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris*, 1856, t. XLIII, p. 468.
(4) *Manuel d'anat.*, *etc.*, trad. franç., t. III, p. 592.
(5) *Ouvr. cit.*
(6) TODD'S *Cyclop. of Anat. and Physiol.*, art. SUPRA-RENAL CAPSULES.
(7) *Traité du développement de l'homme et des mammifères*, trad. de Jourdan, p. 295. Paris, 1843.
(8) BROWN-SÉQUARD, *Mém.* et *Rec. cit.*, p. 391.

au moins comme un résultat d'une extrême fréquence. Quant à Gratiolet (1), il pense que l'on doit établir une différence très grande entre l'opération pratiquée de tel ou tel côté : suivant lui, la capsule gauche peut être enlevée sans aucun inconvénient pour la vie des animaux, tandis que l'extirpation de la capsule droite entraîne toujours la mort. Nous verrons tout à l'heure comment on s'est rendu compte de cette remarquable différence.

A la suite de l'extirpation d'une seule capsule surrénale, les animaux sont parfois atteints de *roulement*, et dans ce cas ils *roulent* presque toujours en commençant par le côté opposé à celui de l'organe enlevé. Brown-Séquard a vu quelquefois ce roulement s'opérer tantôt à droite et tantôt à gauche chez les lapins auxquels il avait extirpé les deux capsules. Sur les mêmes animaux il dit avoir vu assez souvent l'ablation d'une seule capsule être suivie de la contraction plus prononcée de la pupille dans l'œil correspondant.

Lorsque ce physiologiste enleva les *deux capsules* sur des lapins, il constata une survie moyenne de neuf heures et quelques minutes. Gratiolet, opérant sur des cochons d'Inde, ne vit mourir ces animaux que le surlendemain, résultat qu'on a dit pouvoir s'expliquer par la différence d'âge des sujets opérés. Les animaux adultes survivent moins longtemps que les jeunes : sur cinq chiens et six chats nouveau-nés ou très jeunes (de deux à douze jours environ), la survie moyenne, après l'ablation des deux capsules, a été de trente-sept heures, la survie minimum de dix-neuf heures, et la survie maximum de quarante-neuf heures (Brown-Séquard).

Dans une note adressée à l'Académie des sciences de Paris, Philipeaux (2) conclut de ses expériences que l'extirpation des capsules surrénales n'entraîne pas nécessairement la mort des animaux. Il en a vu quelques-uns, entre autres quatre rats albinos, et plus tard des animaux à poils colorés, auxquels on avait enlevé les deux capsules surrénales, survivre à l'opération, sans qu'il fût possible de constater le moindre trouble permanent ou même passager dans leurs fonctions. Aussi ce physiologiste considère-t-il ces organes comme n'étant pas plus essentiels à la vie que la rate et le corps thyroïde. Vers la même époque, Martin-Magron (3) conserva, pendant presque deux mois, un chat auquel il avait enlevé les deux capsules surrénales. G. Harley a pratiqué plusieurs fois aussi l'ablation de ces organes, et il incline à croire que leurs fonctions sont sans grande importance.

Les résultats obtenus par ces derniers expérimentateurs ont prouvé que la mort n'est pas une conséquence inévitable de l'extirpation des deux capsules surrénales. Ajoutons néanmoins que Philipeaux (4), sur les quatre rats albinos qu'il avait annoncé être complétement guéris, en a vu mourir trois : le premier au bout de neuf jours, le deuxième après vingt-trois jours, et le troisième au trente-quatrième jour. A la vérité, il croit devoir attribuer leur mort au froid intense auquel ils auraient été exposés. Quant au quatrième de ces animaux, il continue à vivre, dit l'expérimentateur, « quoique privé des deux capsules depuis quarante-neuf jours. »

Notant avec soin l'influence de l'ablation des deux capsules surrénales sur les

(1) *Mém. cit.*
(2) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1850, vol. XLIII, p. 904.
(3) Cité par Liégeois, *Thèse d'agrégation : Anatomie et physiologie des glandes vasculaires sanguines*. Paris, 1860, p. 63.
(4) *Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris*, 1850, vol. XLIII, p. 1166.

fonctions de la vie animale et de la vie organique, Brown-Séquard (1) est arrivé aux résultats suivants : les animaux tombent rapidement dans un état d'affaiblissement très notable que l'on doit distinguer de celui qui résulte de toute opération grave et douloureuse. En effet, à la suite de l'extirpation des capsules, dix ou quinze minutes après l'opération, les animaux marchent et courent comme auparavant. Puis, après un temps variable (une ou deux heures), ils s'affaiblissent de nouveau, et cet affaiblissement augmente alors assez rapidement ; il est surtout porté très loin un quart d'heure ou vingt minutes avant la mort. Quelque temps aussi avant qu'elle survienne, se montre une véritable paralysie, frappant d'abord les membres postérieurs, puis les antérieurs, et enfin les muscles respiratoires. La sensibilité persiste dans presque toute l'étendue du corps jusqu'à la dernière heure, et elle est quelquefois exagérée. Elle disparaît une demi-heure avant la mort dans le train postérieur.

Exceptionnellement on a pu observer une anesthésie complète. Les convulsions seraient très fréquentes, mais seulement dans les dernières heures de la vie. Gratiolet, au contraire, nie l'existence de ces phénomènes. La respiration et la circulation présentent quelquefois une diminution notable et rapide, et il survient une espèce d'état syncopal. Dans beaucoup d'expériences, on peut observer une première période pendant laquelle les mouvements respiratoires sont plus considérables ou normaux, puis ils diminuent de fréquence jusqu'à la mort. Quant aux battements du cœur, ils présentent assez souvent une période plus ou moins longue d'augmentation de leur fréquence; mais, dans la majorité des cas, la force des battements du cœur est notablement diminuée pendant toute la durée de la survie. La faim disparaît, ou du moins les animaux refusent de prendre des aliments. La digestion semble complétement arrêtée. La sécrétion urinaire est normale en quantité et en qualité. En général, la température s'abaisse. Notamment en hiver, on peut constater la perte de 4 ou 5 degrés.

Quelle est la cause de la mort chez les animaux dépouillés d'une ou de leurs deux capsules surrénales ? — D'un côté, Brown-Séquard pense que c'est à l'*absence* des capsules surrénales qu'il faut surtout attribuer la mort, et nie par conséquent qu'elle soit due habituellement aux lésions inévitables ou accidentelles qui accompagnent l'extirpation. D'un autre côté, Gratiolet conclut de ses recherches que la mort n'est pas une conséquence de l'ablation de ces organes en tant que capsules surrénales. Lorsqu'il s'est borné à enlever la capsule gauche, les animaux ont survécu, et deux minutes et demie après l'opération, ils paraissaient bien portants, ils mangeaient cinq jours après, et bientôt la plaie se cicatrisait. Au contraire, après l'extirpation de la capsule droite, les cochons d'Inde mouraient le surlendemain avec des signes d'hépatite et de péritonite confirmés par l'autopsie. Si enfin l'opération était pratiquée des deux côtés, la mort avait lieu en quarante-huit heures, en s'accompagnant également de signes d'hépatite et de péritonite. D'où il suit, dans l'opinion de Gratiolet, que la mort, après l'ablation de la capsule droite, ne résulte point de la soustraction même de cet organe, mais qu'elle doit être rapportée aux désordres consécutifs à une opération rendue dangereuse par suite des rapports intimes qu'affecte cette capsule avec la racine du foie, avec la veine cave inférieure, qui lui est pour ainsi dire accolée, etc. : la mort, après l'extirpation pratiquée des deux côtés, ne deviendrait dès lors signi-

(1) *Mém.* et *Rec. cit.*, p. 397 et suiv.

ie dans le cas où l'on aurait préalablement obtenu la cicatrisation de la oite.

urement à la publication des précédentes recherches, Brown-Séquard a les expériences dans ce sens, et il est venu annoncer qu'il avait obtenu ı et la survie de ses animaux après l'ablation de la capsule droite. Quant ıx, il pense que, dans le cas où la mort survient, elle est causée par . qui est grave, et qui occasionne souvent, soit une inflammation du laire environnant les reins, soit une péritonite, soit une hépatite, soit rive fréquemment) une hernie intestinale au travers des muscles divisés. voir tenté de nombreuses expériences pour déterminer la part de chaésions qui peuvent accompagner l'extirpation des capsules surrénales, uard a été conduit à rejeter la manière de voir des précédents auteurs. nétrante de l'abdomen qui accompagne nécessairement ce mode d'in-, peut causer subitement la mort par suite d'une hémorrhagie considé-l'une syncope due à la lésion de quelque branche nerveuse importante. n'y a ni hémorrhagie grave, ni syncope soudaine, on pense que la mort plupart du temps à la suite d'une péritonite. Or, dans nombre de cas, nimaux morts à la suite de l'extirpation des capsules, ce physiologiste 'a pas trouvé de traces de péritonite, et que, dans beaucoup d'autres, le était enflammé dans une si petite étendue, qu'il devenait impossible de a mort à cette cause. Ces faits ont été vérifiés plusieurs fois dans les la Société de biologie. — Le même observateur a vu également des itteints de péritonite avoir une survie beaucoup plus longue que celle habituellement après l'ablation des capsules surrénales. — De plus, l'exajoute-t-il, démontre que les plaies du péritoine, qu'elles produisent ou itonite, ne sont pas nécessairement mortelles, tandis que la mort est à onstamment la règle à la suite de l'extirpation des capsules. Des examens iques nombreux lui ont fait aussi rejeter la néphrite et l'hépatite comme mort chez les animaux soumis à ce mode d'expérimentation. — Le estigateur assure encore avoir constaté, dans quelques cas de phlébite rénales et de la veine cave inférieure, une survie plus longue qu'après des deux capsules, et être arrivé au même résultat à la suite d'expéns lesquelles il avait intéressé le péritoine des deux côtés et favorisé la reins et de l'intestin.

l dit avoir observé quelquefois, à la suite de l'extirpation des capsules , une congestion très marquée de la glande thyroïde, de la rate et du e qui porterait à faire croire à une certaine analogie de fonctions entre s.

en du sang des animaux privés de leurs capsules surrénales a permis de e que ce liquide renferme une matière pigmentaire spéciale et des crisculiers; fait important à noter dans la recherche des usages de ces

nce de cette matière pigmentaire spéciale a été constatée par Brownbez tous les animaux auxquels il avait enlevé les capsules (*). Chez eux, ı outre la production de cristaux dans le sang et la prompte disparition

N-MAGRON, sur le chat qu'il a conservé presque deux mois après l'extirpation des capsiné le sang tous les jours ; il n'a jamais pu y découvrir la moindre trace de pigment.

des globules, faits qui tendraient à prouver que les capsules surrénales jouent un rôle important comme organes modificateurs du sang.

Le sang des chiens, des chats, des lapins, des cochons d'Inde renferme normalement du pigment sous la forme de granules ou de plaques ; mais, après l'ablation des capsules, cette matière paraît augmenter notablement. On observe alors des plaques de pigment dans une gangue de matière amorphe, et quelquefois de véritables cellules pigmentaires.

Le sang de l'homme contient aussi du pigment. H. Meckel, Wirchow, Kölliker (1), avaient déjà fait cette observation, lorsque Planer (2) la confirma par l'examen du sang d'une centaine de sujets chez lesquels il constata en effet la présence de cette matière. — Il resterait à déterminer si, dans la *maladie bronzée*, le sang présente une augmentation notable de cette matière pigmentaire, étude qui jusqu'ici n'a pas été faite d'une manière suffisante.

Brown-Séquard assure avoir reconnu que la quantité de pigment était augmentée chez un nombre considérable de lapins affectés d'une maladie à laquelle il a donné le nom de *maladie pigmentaire*, et dont les symptômes sont en tout analogues à ceux qui résultent de l'extirpation des capsules surrénales. Chez ces animaux atteints de la maladie pigmentaire, il a trouvé, dit-il, presque sans exception, des lésions diverses et assez avancées des capsules.

Dans tous ces cas (absence des capsules, maladie d'Addison, maladie pigmentaire) l'accumulation dans le sang d'une matière pigmentaire, spéciale paraît provenir de ce que les capsules surrénales ne peuvent plus modifier une matière susceptible de se transformer en pigment. A l'appui de cette opinion, Vulpian (3) a signalé dans les capsules surrénales une matière spéciale qui se colore en rouge carmin par l'iode et prend une teinte glauque par les sels de fer. Or, ces réactions se rapprochent beaucoup de celles que Bruch (4) a obtenues en agissant sur les cendres du pigment choroïdien. La matière spéciale dont il s'agit ne serait-elle autre chose que la substance transformable en pigment et qui se dépose dans les capsules?

L'existence des plaques pigmentaires et des cristaux particuliers qui se forment dans le sang a été invoquée pour expliquer les troubles nerveux qui surviennent assez souvent dans ces cas; ces plaques de pigment étant supposées être quelquefois assez volumineuses pour interrompre la circulation des capillaires du cerveau.

« Il semble donc extrêmement probable, conclut Brown-Séquard, qu'une des fonctions des capsules surrénales consiste en une modification spéciale d'une substance douée de la propriété de se transformer aisément en pigment. » Cette conclusion découlerait des faits suivants que cet expérimentateur considère comme acquis à la science : 1° Quand les capsules, chez l'homme, sont tellement altérées qu'elles ne peuvent plus fonctionner, ou que leur fonction est diminuée à un degré considérable, il se dépose du pigment dans la peau, et souvent aussi dans le péritoine et ailleurs. 2° Dans tous les cas d'inflammation des capsules surrénales sur les lapins (maladie pigmentaire), il y a plus de pigment dans le sang. 3° Le sang des animaux (chiens, chats, lapins) privés de leurs capsules surrénales contient également une quantité plus considérable de pigment.

(1) *Mikrosk. Anat.*, Bd. II, Heft 2. Leipzig, 1852, p. 270.
(2) *Wiener Zeitschrift*, février 1854.
(3) *Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris*, t. XLIII, p. 663.
(4) *Untersuchungen zur Kenntniss des körnigen Pigments der Wirbelthiere*. Zurich, 1844.

Aujourd'hui, ces conclusions pourront paraître encore trop absolues. Rappelons-nous que Martin-Magron, examinant chaque jour, avec le plus grand soin, le sang d'un chat qui survécut environ deux mois à l'extirpation des capsules surrénales, ne put jamais y constater la présence de pigment. Quant à la maladie d'Addison (maladie bronzée), on l'a rencontrée chez des individus dont les capsules étaient saines. Ajoutons que des altérations profondes de ces organes, et même leur absence congénitale, sont loin d'avoir été toujours accompagnées des symptômes propres à cette affection.

DU THYMUS ET DE SES FONCTIONS.

I. — Le *thymus*, qui appartient aussi à la classe des *glandes vasculaires sanguines*, est situé, chez l'homme et les animaux vertébrés supérieurs, dans le médiastin antérieur, derrière le sternum, au devant de la trachée-artère et des vaisseaux du cou.

Des organes analogues au thymus existent, chez les *Reptiles*, dans le voisinage du cœur et des gros troncs vasculaires : ce sont tantôt deux petits corps placés près des arcs aortiques, comme chez les anoures ; et tantôt une glande lobulée, arrondie, comme chez les ophidiens, les chéloniens et les crocodiles. — Les *Poissons* n'offrent rien qui ressemble au thymus, et l'on rencontre très rarement l'analogue de cet organe chez les *Oiseaux*. Siebold et Staunius (1) ont néanmoins trouvé le thymus, chez le cormoran et le pingouin, sous la forme de deux corpuscules très riches en vaisseaux et situés à côté de chaque bronche. Rich. Owen en a constaté l'existence chez le fou-blanc.

Le thymus existe chez tous les *Mammifères* (excepté les marsupiaux) avec une disposition et une structure à peu près identiques. Il est composé de deux lobes distincts, très rarement de trois, et chaque lobe est lui-même formé par la réunion de nombreux lobules ayant de 5 à 10 millimètres de diamètre. La laxité du tissu cellulaire qui réunit ces lobules entre eux permet de les séparer les uns des autres, et l'on constate alors que tous tiennent par un pédicule à un axe central qui parcourt l'organe sous forme de *tire-bouchon*. — Cette spirale s'étend de la partie supérieure à la partie inférieure de la glande, et, suivant la comparaison établie par Astley Cooper (2), ressemble à un chapelet dont les grains sont représentés par les lobules et le fil par la tige centrale.

Chaque lobule, creusé d'une cavité qui s'ouvre par un orifice distinct dans cette tige centrale également creuse, est constitué lui-même par des granulations visibles à la surface du thymus et donnant à cet organe l'aspect d'un poumon qui n'a pas encore respiré.

Quelques auteurs, et notamment Astley Cooper, ont admis que le thymus présente une cavité ou réservoir dans lequel s'accumulerait le produit de sécrétion. Klaschke (3) assure que cette cavité existe seulement chez les enfants bien nourris, qu'elle y est parfois assez considérable, et qu'enfin elle renferme un liquide lactescent et épais. Suivant J. Simon (4), cette cavité résulterait du mode de prépara-

(1) *Anat. comp.*, trad. franç., t. II, p. 365. Paris, 1840.
(2) *Anatomy of the Thymus Gland*, etc. Loudon, 1832.
(3) *Splanchnologie*, trad. franç. de Jourdan, p. 282.
(4) *Physiological Essay on the Thymus Gland*. London, 1845.

tion employé (injection ou insufflation), et Kölliker (1) n'est pas éloigné de partager cette opinion, tout en admettant qu'il est néanmoins des thymus qui, normalement, sont munis d'une cavité centrale.

L'élément fondamental du thymus est une vésicule close, dont le diamètre paraît varier de $0^{mm},009$ à $0^{mm},02$. Chaque vésicule présente une paroi propre, peu résistante, et parcourue par une grande quantité de vaisseaux ; dans son intérieur existe un liquide grisâtre, laiteux, albumineux et réagissant comme les acides. Ce liquide tient en suspension des noyaux et des cellules dont quelques-unes sont pavimenteuses. Il renferme souvent aussi des corps dits *concentriques* qui, suivant A. Friedleben (2), sont des follicules en voie de destruction morphologique. Ces corps, formés de cellules infiltrées de granulations et réunies par plusieurs couches concentriques, se rencontrent non-seulement dans le liquide, mais dans l'épaisseur de la paroi vésiculaire.

Les artères du thymus proviennent des médiastines et des thyroïdiennes inférieures; ses veines se rendent dans les veines qui correspondent à ces divisions artérielles. — Quant aux vaisseaux lymphatiques, ils paraissent y exister en assez grand nombre. A. Cooper, qui les a injectés, leur attribue un rôle des plus importants: à ses yeux, il en est deux principaux qui, venus des parties supérieures du thymus, s'aboucheraient par un ou plusieurs orifices dans les veines jugulaires, tout près de la jonction de ces dernières avec la veine cave supérieure. « Ce sont là, dit A. Cooper, les *vaisseaux absorbants* du thymus, destinés à transporter dans les veines le fluide sécrété par cette glande. » — Les nerfs, d'ailleurs très peu nombreux, proviennent du grand sympathique et accompagnent les artères.

Les recherches modernes les plus minutieuses n'ont pu faire découvrir, dans le thymus, aucune trace de conduits excréteurs.

Le *développement* du thymus est un des points les plus intéressants de son histoire. C'est un organe propre à la vie fœtale et à la première enfance; à partir de cette époque, il s'atrophie progressivement et finit par disparaître complétement dans la grande majorité des cas. F. Arnold (3) dit que le thymus est une dépendance de la muqueuse respiratoire, et qu'il apparaît d'abord à l'endroit où se forme le larynx, et qu'en croissant il descend ensuite sur la trachée-artère. Bischoff (4) a eu occasion d'étudier le thymus sur un embryon de vache, qui, étant étendu, avait un pouce de long : « Il formait, dit cet observateur, deux minces languettes, accolées l'une à l'autre, situées, sur le milieu de la trachée-artère, descendant depuis le larynx jusqu'auprès de la poitrine, et résultant d'un blastème dans lequel ses éléments venaient d'apparaître, et qui me sembla faire corps vers le haut, avec celui de la thyroïde. » Mais Bischoff ne put découvrir aucune connexion avec le larynx ou la trachée-artère, ni par conséquent confirmer l'assertion d'Arnold. — Le thymus apparaît vers la huitième semaine, puis il augmente jusqu'à la naissance, et même jusqu'à la puberté au dire de Friedleben (5). Après l'âge adulte, on ne rencontre plus, à sa place, qu'une masse de tissu conjonctif pleine de graisse.

(1) *Histologie humaine*, trad. franç., p. 527. Paris, 1856.
(2) *Die Physiol. der Thymusdrüse in Gesundheit und Krankheit*, etc. Francfort-sur-le-Mein, 1858, in-8.
(3) *Salzb. med. Zeitung*, 1831, t. II, p. 273.
(4) *Traité général du développement*, p. 293.
(5) *Loc. cit.*

Le *rôle* du thymus est encore bien problématique ; pour s'en convaincre, il le jeter un coup d'œil sur les opinions si contradictoires, parfois si bizarres, té émises à ce sujet, et dont la plupart sont rapportées dans le remar- avail de Ch. Haugstedt (1).

Cooper (2) attribue au fluide thymique une composition qui se rapproche de celle du sang. — Suivant Friedleben (3), le thymus renferme, léments chimiques, de l'eau, de l'albumine, de la glutine, du sucre, de ctique, de la matière pigmentaire, de la graisse et différents sels. L'albu- sucre et les sels prédomineraient dans la première enfance ; plus tard, ce la glutine, l'acide lactique et la graisse. Chez les jeunes sujets, les sels riches en phosphates terreux ; chez les gens âgés, ils seraient riches en ns. D'après le même observateur, l'abstinence et les maladies, qui débi- ujet, déterminent une diminution dans le volume de la glande, dans le écrété et en modifient la composition chimique ; si la cause morbide per- amène une atrophie permanente de l'organe. Les animaux privés de ajoute Friedleben, mangent plus que les autres, d'où résulte un accrois- e volume plus considérable que celui des animaux sains ; toutefois, rela- à la masse des aliments ingérés, il est inférieur. Après l'ablation du e sang se formerait plus rapidement, contiendrait une glus grande quan- , d'albumine, de globules blancs, et moins de globules rouges. — Fina- Friedleben conclut de ses expériences, que « le thymus sert, *pendant ement du corps*, à la nutrition, à la préparation du sang, et par cela a formation des tissus. »

lant sur la structure même du thymus et sur la composition chimique du u'il sécrète, A. Cooper pense que cet organe a pour usage de séparer du a mère un fluide qui entre dans les veines et sert à la nutrition, comme ayle après la naissance. — Huschke, après avoir rappelé l'antagonisme entre le développement des poumons et celui du thymus, fait remarquer considérable que ce dernier organe acquiert chez les animaux hiber- il le croit intimement lié à la respiration. — C'est en s'appuyant sur des tions analogues, que d'autres auteurs ont attribué au thymus le rôle que plus tard le poumon lui-même par rapport à l'hématose.

ne objection peut être faite à plusieurs de ces hypothèses, c'est que le est pas exclusivement destiné à la vie fœtale, et qu'il continue (à la vérité e les autres organes) à croître jusqu'à la puberté.

gulière opinion a été proposée par Youatt (4). Le thymus de l'embryon, corps avec la glande thyroïde et les parotides, en sorte que ces trois en forment qu'un seul. Les parotides ne sécrètent pas encore de salive, même que le thymus, elles produisent un liquide d'apparence laiteuse, celui que l'on trouve souvent dans l'estomac du fœtus. Le thymus, att, sert donc à la nutrition ; il sécrète un produit qui est transporté uche par le canal parotidien, descend dans l'estomac et les intestins, et

ui in homine ac per seriem animalium descriptio anatomica, pathologica et physio- iæ, 1832.

, cit.

cit.

. génér. de méd., 2e série, 1833, t. I, p. 570.

prépare ces organes à l'exercice des fonctions qu'ils vont remplir après la naissance.

Picci (1) n'accorde au thymus qu'un rôle purement mécanique. Les poumons, très peu développés pendant la vie fœtale, doivent prendre tout à coup, après la naissance, un développement considérable ; il faut que la cavité thoracique soit assez large pour les contenir, sans quoi il surviendrait une compression funeste. Les poumons du fœtus ne sauraient donc remplir toute cette cavité, aussi le thymus est-il disposé de façon à combler le vide. — Cette opinion ne peut guère être soutenue, puisque le thymus, comme nous l'avons déjà dit, continue à croître après la naissance.

En définitive, il est impossible, jusqu'à présent, d'assigner au thymus une fonction bien déterminée. L'hypothèse qui a pu paraître la plus plausible, c'est que les vésicules closes de cet organe font subir au sang qui traverse leurs parois une élaboration particulière portant probablement sur les globules incolores et sur la constitution chimique de ce fluide. Le thymus interviendrait ainsi dans les fonctions générales de l'économie, et serait supposé servir à l'accroissement des organes dans la première et la deuxième enfance.

DU CORPS THYROÏDE ET DE SES FONCTIONS.

Le *corps thyroïde* fait également partie des glandes dites *vasculaires sanguines* qui toutes possèdent des cellules propres dont le produit est versé directement dans le torrent circulatoire.

Placé au cou, au-devant des premiers anneaux de la trachée-artère et sur les côtés du larynx, il présente, dans l'espèce humaine, des différences individuelles de volume assez considérables. En général plus volumineux chez la femme que chez l'homme, il est constitué le plus souvent par deux lobes latéraux réunis, sur la ligne médiane, à l'aide d'une portion rétrécie ou *isthme*.

Tous les *Mammifères* sont pourvus d'un corps thyroïde. Chez beaucoup d'entre eux, il se compose de deux portions entièrement séparées et placées sur les côtés du larynx et de la trachée (monotrèmes, la plupart des marsupiaux, divers rongeurs, etc.). Une bande étroite réunit ces deux portions dans certains rongeurs, différents carnassiers et la plupart des singes. Chez les cétacés et quelques singes, elles sont tout à fait confondues. Le corps thyroïde de l'éléphant présente une disposition lobulée très marquée.

Les *Oiseaux* possèdent de petits corps arrondis ou allongés, très vasculaires, situés près de la trachée ou au-dessous du larynx inférieur, desquels on a fait les analogues de l'organe thyroïde. Ces petits corps, dont l'existence paraît constante, sont attachés assez intimement aux carotides et quelquefois aussi aux artères vertébrales.

Non loin du cœur et des gros vaisseaux, chez les *Reptiles*, on observe des organes glanduleux, très riches en vaisseaux sanguins et privés de conduits excréteurs, que l'on a considérés comme représentant à la fois le thymus et le corps thyroïde.

Le corps thyroïde offre, notamment dans l'espèce humaine, une coloration rougeâtre ou d'un jaune pâle, différente de celle des glandes qui lui sont analogues, comme le thymus ou les capsules surrénales.

(1) *Arch. génér. de méd.*, 1e série, 1844, t. V, p. 97.

Un tissu fibreux ou *stroma*, composé de faisceaux de tissu conjonctif entre-oisés et de quelques fibres élastiques fines, des vésicules glandulaires parfaite-ent closes, des vaisseaux et des nerfs, tels sont les éléments qui entrent dans la cture du corps thyroïde.

Berres (1) paraît être le premier qui ait signalé l'existence de vésicules closes. les se présentent chez l'homme, dit Kölliker (2), avec des dispositions si diverses, e l'état normal est bien difficile à apprécier. Cependant, d'après des observa-ns multipliées sur l'homme et divers animaux, cet auteur les considère comme mées d'une membrane propre, d'un épithélium et d'un contenu fluide. La mbrane propre est homogène, fine, demi-transparente; à sa surface interne, nt disposées des cellules épithéliales polygonales, à noyau simple, renfermant un ntenu transparent, visqueux, légèrement jaunâtre, et dans lequel la présence ne notable quantité d'albumine est décelée par l'alcool, l'acide nitrique et la aleur. — Ces vésicules glandulaires ont de 0mm,04 à 0mm,1 de diamètre. Grâce stroma fibreux qui les entoure, elles se réunissent en lobules de 0m,5 à 1 milli-ètre de diamètre, lesquels, par leur réunion, constituent eux-mêmes des lobules ss volumineux.

Suivant Henle (3), le corps thyroïde hypertrophié renferme de grandes cellules ólées, et remplies d'un liquide clair, chargé d'albumine. Cet observateur se emande si ces cavités n'ont fait que s'agrandir, ou bien si elles sont de formation ouvelle, et il regarde la première opinion comme probable, puisque, en compri-nant le corps thyroïde sain, on peut en exprimer un liquide clair et analogue au écédent.

Colin (4) a noté une transformation assez remarquable dans les vésicules thy-ïdiennes du bœuf : celles-ci sont généralement petites ; mais, sur un bœuf par-faitement sain, elles étaient devenues très volumineuses (plusieurs comme une ésette) et contenaient un liquide jaunâtre, translucide, laissant précipiter quel-ques flocons albumineux sous l'influence de la chaleur, prenant une teinte violette r le réactif cupro-potassique, et réduisant une certaine quantité d'oxyde de ivre. Cette dernière réaction, comme on le sait, dénote généralement la pré-ence de la glycose.

Frommherz et Gugert (5), ayant fait l'analyse d'un corps thyroïde à l'état sain, ont trouvé de la graisse, des matières extractives, de la fibrine, une matière uéeuse, beaucoup d'albumine, divers sels, et du mucus avec de nombreux glo-ules en suspension. On y a signalé, depuis, la présence de l'acide lactique, de la ucine et de l'hypoxanthine.

Les vaisseaux du corps thyroïde sont extrêmement nombreux, surtout les ines : on peut s'en assurer en voyant le volume énorme qu'acquiert cet organe à suite d'une injection veineuse bien réussie. — Quant aux nerfs, ils proviennent la fois de l'hypoglosse et des nerfs laryngés supérieur et inférieur.

Suivant Bischoff (6), il existe un blastème commun au corps thyroïde et au ymus. Le premier de ces organes, d'après les observations de F. Arnold,

(1) *Oesterreichische Jahrbücher*, t. XXXI, p. 413.
(2) *Histologie humaine*, trad. franç., p. 523. Paris, 1856.
(3) HENLE, *Anat. génér.*, trad. de Jourdan, t. II, p. 579.
(4) COLIN, *Physiol. comparée, etc.*, t. II, p. 478.
(5) SCHWEIGGER'S *Journal*, t. IV, p. 190.
(6) *Traité général du développement*, trad. franç. de Jourdan, p. 293.

apparaît entre la septième et la huitième semaine; Bischoff a pu observer des vésicules bien formées sur un fœtus de six mois.

Le corps thyroïde, avons-nous dit, est formé par des vésicules parfaitement closes; les prétendus conduits excréteurs débouchant dans la trachée, à la base de la langue ou dans l'œsophage, signalés et représentés par Water, Santorini, Bordeu, etc., n'existent point. C'est donc là une de ces glandes sanguines dans lesquelles les veines jouent le rôle de canaux excréteurs.

L'analyse comparative du sang veineux et du sang artériel de cette glande, celle du sang de la veine jugulaire, ont été faite par Berthelot (1). Elles ont donné les résultats suivants :

	Artère carotide.	Veine thyroïdienne.	Veine jugulaire.
Eau.....	83,36	82,61	79,58
Albumine.....	9,72	8,25	9,24
Globules	6,87	8,81	10,92
Fibrine.....	0,05	0,33	0,26

Ces analyses tendraient à faire croire que le corps thyroïde peut aussi contribuer à changer la constitution chimique et microscopique du sang, puisqu'en sortant ce fluide perd un peu d'eau et d'albumine, et gagne par compensation des globules et de la fibrine. Mais il est encore bien difficile de préciser la signification de ces légères différences.

L'innocuité de l'extirpation du corps thyroïde semble autoriser à refuser à cet organe un rôle d'une grande importance. Du reste, la science ne possède aujourd'hui aucune donnée satisfaisante sur les usages à attribuer à ce corps glandiforme.

On a signalé une certaine relation entre le corps thyroïde et les organes génitaux : J. F. Meckel le considère « comme la répétition de la matrice au cou », en tenant compte du gonflement que ce corps présente parfois à l'époque des menstrues et pendant la grossesse. Liégeois (2) cite un fait qui lui a été communiqué par Chapotin de Saint-Laurent, et dans lequel l'influence de la menstruation sur le développement du corps thyroïde paraît bien évidente : « Chez une Italienne âgée de trente-six ans, ayant eu cinq enfants, la thyroïde, notablement hypertrophiée, grossissait deux jours avant l'époque des règles d'une façon manifeste : on constatait le fait en mesurant le cou avec toutes les précautions possibles. Les mamelles augmentaient de volume en même temps que la thyroïde. »

Le corps thyroïde se gonfle sensiblement toutes les fois que survient une gêne respiratoire considérable, comme dans l'asphyxie, ou qu'une expiration forcée, comme dans l'effort, tend à chasser une certaine quantité de sang hors de la poitrine.

Magnus et Lalouette, examinant le corps thyroïde chez des chiens mis à mort après une course rapide, l'ont toujours vu gorgé de sang; si, avant de sacrifier les animaux, on avait laissé la circulation et la respiration revenir à leur état normal, cette turgescence disparaissait.

Nous croyons devoir, en terminant, mentionner les rapports que Maignien (3)

(1) Colin, *ouvr. cit.* Paris, 1856, t. II, p. 479.

(2) *Thèse pour l'agrégation : Anatomie et physiol. des glandes vasculaires sanguines*, p. 49. Paris, 1860.

(3) *Extrait d'un mémoire présenté à l'Académie des sciences de Paris, sur les usages du corps thyroïde* (*Examinateur médical*, 1842, et *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XIV, p. 75, III; XVI, p. 1200).

indiqués entre le corps thyroïde et le développement ainsi que les fonctions de l'encéphale. Suivant cet auteur, les lobes thyroïdiens, bridés par des aponévroses résistantes, recouverts par l'appareil des muscles sous-hyoïdiens, seraient destinés à comprimer les carotides contre la colonne vertébrale, et à diminuer ainsi l'afflux du sang vers les parties antérieures de l'encéphale. De leur volume proportionnellement très considérable dans la vie intra-utérine, il résulte, à cette époque, une prédominance dans la circulation des artères vertébrales, et aussi un accroissement plus rapide et plus complet du cervelet, du bulbe et de la protubérance. Chez les mammifères, les lobes thyroïdiens restent distincts et sont en rapport plus immédiat avec les carotides; aussi les hémisphères cérébraux sont-ils relativement moins développés que le reste de l'encéphale. Chez l'homme, au contraire, par suite de la présence de l'*isthme*, ils se portent davantage en avant et ne compriment les carotides que dans certaines circonstances : c'est lorsqu'il doit y avoir prédominance d'action des parties postérieures de l'encéphale, par exemple dans les efforts musculaires, le saut, la course, etc. Enfin, et comme complément, Maignien rappelle que, chez les crétins, dont le corps thyroïde est hypertrophié ou dégénéré, ces mêmes parties encéphaliques postérieures sont relativement plus considérables que les antérieures, précisément parce que la circulation des vertébrales est plus active et plus libre que la circulation des carotides.

Ces idées, qui n'ont encore été émises, pour ainsi dire, que sous la forme d'une esquisse, et qui ont assurément bien besoin de contrôle, trouveraient quelque confirmation dans les expériences d'Astley Cooper (1).

(1) A. Cooper. *Recherches expérimentales sur la ligature des artères carotides et vertébrales, des nerfs pneumogastrique, phrénique et grand sympathique* (*Gazette médicale de Paris*, 1838, p. 100).

DE LA NUTRITION.

Nous connaissons déjà l'enchaînement mutuel de ces fonctions importantes qui, commençant à la *digestion* et à l'*absorption*, aboutissent à la *nutrition* dont le but est de fixer, pour un temps variable, dans les tissus vivants, certains principes des matériaux venus du dehors. Déjà aussi nous savons que toutes les parties de l'animal proviennent du sang, que ce fluide lui-même les développe ou les entretient avec le concours des aliments, que l'alimentation est donc une condition essentielle à la vie, et qu'une autre condition non moins indispensable est l'absorption incessante de l'oxygène atmosphérique, c'est-à-dire la *respiration*. Enfin nous avons vu le sang, que la *circulation* distribue à tous les organes, s'altérer en recevant les produits ultimes des métamorphoses dues au travail nutritif, puis s'épurer à l'aide des *sécrétions*, en même temps qu'il se renouvelle incessamment au moyen de la lymphe et du chyle. — Toutes ces notions nous étaient nécessaires avant d'aborder l'étude de la *nutrition proprement dite*.

Un simple résumé de ce que nous avons déjà appris sur les fonctions précédentes ne saurait suffire pour éclairer ou résoudre les nombreuses et difficiles questions qui se rattachent à cette étude. Il s'agit en réalité d'un nouveau problème physiologique qui consiste non-seulement à déterminer la série des transformations successives que doivent subir les principes réparateurs pour passer à l'état de *matière nutritive* ou assimilable, mais encore à rechercher comment chaque partie organique peut prendre ou plutôt *choisir*, dans ces éléments ainsi préparés, ce qui convient à sa nature et à sa destination particulière, pour le fixer en lui communiquant des propriétés qui lui manquaient et dont elle-même est douée, en un mot, se l'*assimiler*. Ce dernier acte est, en grande partie, le secret de la vie, et l'on est convenu d'appeler *vitale* la force inconnue qui l'opère.

Pour se guider dans une étude aussi obscure que celle qui a trait à la production même et à la régénération continue de la matière vivante, il importera surtout d'avoir recours aux nouvelles lumières de la chimie organique. Trop heureux, quand parfois cette science pourra nous donner ou nous faire pressentir l'explication de métamorphoses, de décompositions et de recompositions si diverses!

La nutrition commence avec le corps vivant lui-même, en assure le développement et la durée, et ne cesse qu'avec la vie. Le germe, dans l'animal ou dans la plante, ne se développe et ne se transforme en un être nouveau que par la nutrition. C'est elle qui, après l'acte mystérieux de la fécondation, se centralise dans ce germe devenu un foyer de vie indépendante et répartit peu à peu les matériaux des organes dont l'évolution successive devra constituer le nouvel être. C'est elle aussi qui en assure le développement complet et entretient l'être vivant pendant

la période plus ou moins longue de l'âge adulte; c'est elle enfin qui, luttant contre les altérations organiques dues à la vieillesse, prolonge autant que possible la vie de l'individu. — Ainsi la nutrition se manifeste à toutes les périodes de l'existence des êtres vivants, tantôt en présidant au développement ou à l'accroissement de leurs organes, et tantôt en se bornant à entretenir ces derniers en pleine activité vitale.

Ces deux effets de la nutrition révèlent, d'une part, le pouvoir de produire la matière organisée elle-même, et, d'autre part, la faculté de la maintenir dans toutes les conditions physiques, chimiques et physiologiques qui sont indispensables à l'accomplissement de ses diverses fonctions. — Dans les considérations qui vont suivre, il sera donc nécessaire de se placer à ce double point de vue.

Pour se développer et s'accroître, tout être doué de la vie emprunte au dehors des substances qui lui sont offertes sous diverses formes; puis, à l'aide d'une élaboration successive et plus ou moins complexe, ces substances se métamorphosent en matière vivante qui, prenant place dans le corps en voie de développement, en devient partie intégrante : *une augmentation de volume et de poids* démontre, en effet, cette addition de matière nouvelle. — L'étude préalable des fonctions qui concourent à la nutrition, et notamment de l'absorption, nous a fait connaître les conditions et le mécanisme probable de l'introduction de ces matériaux venus du dehors, pour les animaux comme pour les plantes. Placé dans des circonstances où la matière alimentaire s'offre à lui sous une forme (liquide ou gazeuse) qui en permet l'absorption immédiate, le végétal puise directement dans le sol, dans l'atmosphère ou bien dans l'eau où il vit, les éléments de ses tissus. Il n'en est pas de même de la généralité des animaux, dont les aliments, presque toujours pris à l'état solide ou de suspension, nécessitent une opération préparatoire à leur absorption: de là, pour l'immense majorité des animaux, la présence obligée d'une cavité intérieure dans laquelle la matière alimentaire puisse séjourner, s'élaborer et se *dissoudre;* de là aussi l'existence d'une fonction qui leur est particulière, la *Digestion.* Ce n'est donc qu'après ce premier travail de transformation que les principes de réparation sont propres à être *absorbés* et versés dans le torrent circulatoire. La respiration n'est aussi qu'une fonction d'absorption s'exerçant dans des conditions particulières, et destinée chez les animaux à introduire l'*oxygène*, agent nécessaire de toutes les réactions physico-chimiques de l'économie. En rappelant ici la *Respiration*, nous complétons l'énumération des fonctions préparatoires qui, concourant à la nutrition, fournissent accès aux matériaux réparateurs des organismes vivants. — Ces fonctions, leur mécanisme et leur but ont été précédemment étudiés en détail; aussi n'avons-nous qu'à renvoyer à ces études antérieures, sans que, sous ce rapport, il soit besoin d'ajouter ici d'autres développements avant de tracer l'histoire de la nutrition. Il n'en est pas de même à l'égard de la transformation des matériaux nutritifs en parties intégrantes de l'organisme que ces matériaux sont appelés à accroître: c'est là un ordre de faits nouveau pour nous et que l'étude des précédentes fonctions ne nous avait pas mis en demeure d'aborder. Nous aurons donc à nous occuper de l'espèce de fusion qui peu à peu s'opère entre les éléments nutritifs et le sang ou la séve, c'est-à-dire des modifications que ces éléments subissent pour constituer le *fluide nourricier* des animaux ou celui des plantes; mais, comme nous l'avons dit, il faudra aussi chercher à nous rendre compte des modifications encore plus profondes qu'éprouvent ces mêmes

éléments pour passer de ce fluide dans la substance des tissus organiques et s'identifier avec elle. En s'efforçant de connaître et de comprendre ces transmutations successives, évidemment on s'attaque à un problème aussi intéressant qu'il est difficile à résoudre, c'est-à-dire au mode de production de la matière vivante dans un être organisé : le mot *assimilation*, souvent employé pour désigner cette dernière série de phénomènes, rappelle assez heureusement le trait essentiel et le résultat si merveilleux de la fonction qui nous occupe.

Si maintenant nous considérons les corps vivants à cette époque de leur existence qu'on nomme l'*âge adulte*, où jouissant de la plénitude de leurs facultés, variant à peine de poids et de volume, ils se maintiennent dans un état à peu près toujours le même, il faudra admettre, parmi les actes essentiellement propres à la nutrition, d'autres actes que ceux de l'*assimilation*, telle du moins que le développement et l'accroissement des parties organiques nous l'avaient fait concevoir. Durant cette période où l'être vivant demeure stationnaire, il ne cesse pas néanmoins d'emprunter aux milieux ambiants des matérieux nutritifs : la plante adulte absorbe encore, par ses racines et par ses feuilles, les sucs de la terre végétale et les éléments aériformes contenus dans l'atmosphère ; l'animal adulte est loin aussi de s'abstenir de nourriture, et la recherche de ses aliments est toujours la préoccupation principale de sa vie. En un mot, et c'est là une idée qu'il importe de bien mettre en lumière, puisque le corps vivant adulte continue à puiser régulièrement de nouveaux matériaux dans le monde extérieur, son état stationnaire à cette époque de son existence nous oblige évidemment d'admettre que ces acquisitions continuelles sont compensées par des pertes équivalentes. En effet, en étudiant les phénomènes chimiques de la respiration, nous avons eu occasion de mentionner des expériences dans lesquelles d'ingénieux observateurs, dressant ce qu'on a nommé la *statique chimique* de certains animaux et même de quelques individus de l'espèce humaine, ont établi, par des chiffres, les conditions de cet équilibre des gains et des pertes du corps vivant, dont le poids ne varie pas pendant la durée de l'expérience.

Ainsi, à une certaine période de son existence, le corps vivant, s'il est nourri avec une assez grande régularité, peut conserver le même poids moyen, et rendre, dans les divers produits résultant de l'action vitale, une quantité de matière précisément égale à celle qu'il reçoit par les aliments; de telle sorte que, dans cette conjoncture, il n'y a plus *assimilation*, si l'on ne veut entendre par là que l'addition des principes introduits par la nourriture aux principes déjà existant dans le système. — On est de la sorte amené à conclure que l'assimilation, ou la production de matière vivante nouvelle dans un corps organisé, n'est pas le seul phénomène qui caractérise la nutrition proprement dite : les éléments nourriciers ont sans doute encore un autre rôle à remplir, et ce rôle n'est pas moins nécessaire que l'autre, bien qu'il soit plus difficile d'en préciser la nature. En effet, puisque des matériaux nouveaux et étrangers sont introduits d'une manière incessante dans l'organisme, et que sans cesse aussi une égale quantité de matière est éliminée du corps, on peut se demander, avant tout, si ces matériaux ne font que passer, pour ainsi dire, à travers les tissus en y donnant lieu à des phénomènes variés de transformation chimique, de production de chaleur, d'électricité animale ou d'excitation physiologique sur les éléments constitutifs des organes; ou bien si les nouvelles quantités de matière dont il s'agit viennent prendre dans les

tissus mêmes la place de quantités équivalentes de matière organisée qui, au fur et à mesure qu'elles s'usent par le mouvement de la vie, sont livrées aux organes d'élimination.

Dans la première hypothèse, l'être vivant adulte s'entretiendrait au moyen des aliments, à peu près comme une lampe éclaire et fonctionne au moyen de l'huile qu'elle contient ; c'est-à-dire que ce nouveau rôle de la matière nutritive serait distinct de l'assimilation proprement dite : introduite dans l'organisme, cette matière y serait employée ou consommée d'une certaine façon, sans s'incorporer, et en donnant lieu seulement à certains phénomènes physico-chimiques indispensables au fonctionnement de cet organisme. Dans la seconde hypothèse, il y aurait préalablement assimilation, en ce sens que la matière élémentaire des aliments se fixerait dans l'économie, en s'y modifiant, pour se substituer à celle que les forces vitales expulsent journellement. Si cette dernière opinion était exclusivement adoptée, l'assimilation serait le procédé général de la nutrition, et il n'y aurait à examiner dans cette grande fonction que des variétés de ce procédé physiologique. — Mais, depuis que Lavoisier, par un rapprochement fécond, a représenté l'organisme vivant comme un foyer où une combustion lente consomme de la matière organique et rend en échange de la chaleur, tout en provoquant bien d'autres phénomènes intimes de transformation chimique et de production de force, on a cessé de ramener tous les actes nutritifs à l'assimilation comprise comme on l'avait fait jusque-là, et le phénomène si simple de la combustion ou oxydation a paru devoir jouer aussi son rôle dans la nutrition. On est donc ainsi ramené à la première des précédentes hypothèses : sans s'y attacher d'une manière exclusive, on ne saurait évidemment se refuser à l'admettre surtout pour une partie des phénomènes nutritifs de l'âge adulte.

En résumé, la nutrition, considérée notamment chez les animaux à sang chaud, paraît employer les matériaux dont elle dispose à deux fins principales : l'*assimilation* et la *combustion nutritive*. L'être vivant *assimile*, c'est-à-dire produit de la matière vivante nouvelle, pour accroître ses organes et pour réparer, à quelque époque que ce soit de sa vie, les déperditions ou les altérations qu'ils subissent. A tout âge aussi, il consomme, sans les assimiler, un certain nombre de matériaux dont la *combustion* ou l'oxydation sert de point de départ à une série de phénomènes physico-chimiques indispensables à l'accomplissement de toutes les fonctions : la production de chaleur, par exemple, que l'on est aujourd'hui parvenu à reconnaître dans un grand nombre d'animaux de diverses classes et même dans beaucoup de végétaux, se rattache intimement à la combustion nutritive.

Quoique cet ouvrage ait trait spécialement à la physiologie animale, nous avons eu déjà plusieurs fois occasion de constater quel avantage on peut trouver à examiner d'abord chez tous les êtres vivants, et d'une façon comparative, les fonctions qu'ils possèdent en commun. Aussi croyons-nous devoir commencer l'histoire détaillée de la nutrition en rappelant certaines données relatives à cette importante fonction considérée parallèlement dans les animaux et dans les plantes. Dans ce cas, plus que dans tout autre, il y a évidemment nécessité de procéder ainsi pour apercevoir le curieux enchaînement des faits.

Lorsque la graine, qui vient de se détacher, se prépare à germer au sein de la terre, déjà, on le sait, elle renferme une jeune plante, comme l'œuf près d'éclore contient sous son enveloppe un jeune animal. L'embryon végétal, jusque-là adhé-

rent par le funicule à la plante mère aux dépens de laquelle il se nourrissait, commence une vie indépendante. Les phénomènes chimico-physiologiques de la germination font subir aux matériaux primitifs qui entourent cet embryon certaines transformations, desquelles résulte une première quantité de séve destinée à la tigelle et à la radicule. Cette dernière partie s'allonge et ne tarde pas à se faire jour, pendant que la tigelle, qui a aussi éprouvé l'influence du liquide nourricier, se développe pour se montrer à son tour hors des enveloppes de la graine. C'est ordinairement la radicule qui se montre la première : son extrémité, formée de tissus tout jeunes, et partant très perméables, absorbe, dès qu'elle est en contact avec le sol, les sucs nutritifs qu'elle y trouve. Bientôt la tigelle elle-même, en se développant, étale dans l'atmosphère les premières feuilles de la plante : ces premières parties, que la lumière colore en vert, sont appelées à accomplir les phénomènes de la respiration en même temps qu'elles se prêtent à certains actes d'absorption ou d'exhalation dans lesquels l'eau joue un rôle considérable, et qui semblent régulariser le mouvement nutritif dans la plante. L'absorption active dont la radicule a été tout d'abord le siége, a enrichi la séve et accru notablement sa quantité : ce liquide, cheminant par les parties centrales de la tige, des extrémités radiculaires vers les feuilles et les bourgeons, va chercher dans le contact de l'air une dernière influence vivifiante après laquelle, devenu *séve descendante*, il descend lentement sous l'écorce ; là, il organise de nouveaux tissus destinés à augmenter le diamètre de la tige, et de nouveaux bourgeons qui, développés par l'afflux d'une nouvelle séve ascendante, allongeront la tige elle-même et feront naître des rameaux sur ses côtés. En même temps la séve descendante met en réserve, sur divers points du végétal, des matériaux organiques de diverse nature, qui concourront à former la nouvelle séve montante, comme les matériaux accumulés dans le corps cotylédonaire, et dans le périsperme quand il existe, avaient servi à constituer la première séve dans la graine.

Tel est le cercle des fonctions auxiliaires de la nutrition dans les plantes, en prenant pour type l'organisation des dicotylédones, dont les monocotylédones ne diffèrent d'ailleurs que dans les détails. Au milieu de cette succession de phénomènes d'absorption et d'exhalation, de circulation de la séve, de respiration, d'excrétions et de sécrétions, il nous reste à distinguer les phénomènes essentiels à la nutrition elle-même.

Depuis l'époque de sa germination, la plante ne cesse pour ainsi dire pas de produire de nouvelles parties ; l'*assimilation* est donc très active chez elle. Il paraît en être de même à l'égard de la *combustion nutritive*. Précédemment (p. 439-441), en traitant de la respiration des plantes comparée à celle des animaux, nous avons relaté diverses expériences de Garreau qui font envisager cette fonction sous un nouveau jour, et nous avons signalé la tendance des botanistes modernes à considérer la respiration végétale comme contribuant, avant tout, à une combustion nutritive de tous points comparable à celle qu'on observe chez les animaux, tandis que le phénomène de la fixation du carbone par les parties vertes serait une sorte d'alimentation, de *digestion végétale*, si l'on veut, beaucoup plus qu'un acte véritablement respiratoire. Aussi une plante qui cesse de décomposer l'acide carbonique (et cela a lieu quand on la laisse assez longtemps dans une complète obscurité) ne meurt pas en quelques jours, mais seulement languit et pâlit comme étant privée de nourriture ; tandis que celle qui ne reçoit plus d'oxygène (ainsi qu'on peut l'expérimenter en la plaçant dans un autre gaz, comme l'azote et l'hydro-

gène, ou encore dans le vide de la machine pneumatique) ne tarde pas à mourir comme *asphyxiée* (Garreau). — En tous cas, la nature des phénomènes respiratoires qui accompagnent la germination et la floraison des végétaux, la consommation notable qu'ils font alors des matériaux combustibles de leur organisme (amidon, sucre, etc.), l'exhalation d'acide carbonique qui s'y rattache, la production de chaleur que beaucoup d'entre eux permettent de constater de la façon la plus évidente, révèlent indubitablement, dans la nutrition des plantes, les mêmes faits de combustion ou d'oxydation qui, depuis Lavoisier, sont admis chez les animaux.

Entre la nutrition des animaux et celle des plantes, il semble donc y avoir analogie complète au moins dans les phénomènes essentiels qui la constituent. Des différences se montrent, il est vrai, dans la nature des substances que modifie et transforme l'élaboration nutritive, mais ces différences entre les deux séries des corps vivants n'ont rien qui doive surprendre : la matière organisée végétale étant seulement analogue à la matière organisée animale et n'étant pas identique avec elle, il est naturel que l'alimentation qui produit l'une ou l'autre, que les transmutations chimiques au milieu desquelles l'une ou l'autre se constitue, ne soient pas les mêmes.

En étudiant précédemment l'alimentation des animaux (*), nous avons montré que la majeure partie de leurs aliments sont des matières organisées animales ou végétales, et que les éléments *carbone*, *hydrogène*, *oxygène* et *azote*, pénètrent dans l'organisme des herbivores sous la forme de combinaisons où la vie avait déjà engagé ces éléments dans les plantes. Il en est de même de l'alimentation des carnivores, ces espèces vivant de la chair d'animaux dont les végétaux forment la nourriture habituelle. Quant aux plantes, elles ne sauraient redemander nécessairement aux tissus des animaux une matière alimentaire qu'elles sont elles-mêmes destinées à leur préparer, et c'est en effet sous une forme plus élémentaire que les matériaux nutritifs doivent s'introduire chez elles : l'eau contenue dans le sol, et enrichie des substances solubles qu'elle y a rencontrées, constitue le suc nourricier de nature variable que les racines absorbent et introduisent dans la séve; l'acide carbonique de l'atmosphère, absorbé par les feuilles, représente une autre espèce d'aliment à l'usage des plantes ; enfin, l'ammoniaque et les sels ammoniacaux semblent compléter les matières premières de l'alimentation végétale, de manière à fournir à l'accroissement des tissus aussi bien qu'aux transmutations de la combustion nutritive. Il est vrai que, pour se nourrir, la plante a généralement besoin que des débris organisés abandonnent au sol leurs principes fécondants ; mais il y a tout lieu de croire que ces principes sont surtout utiles parce qu'ils fournissent *à l'état naissant*, au milieu de leur décomposition putride, les matières ammoniacales et l'acide carbonique que la plante réclame.

Quant aux aliments d'origine minérale, ils jouent le même rôle dans l'alimentation des plantes et dans celle des animaux : ils sont destinés à l'entretien ou au renouvellement des parties solides et liquides de l'organisme, car les humeurs et les tissus contiennent aussi des composés minéraux. Les animaux trouvent leurs aliments de nature minérale dans l'eau ordinaire qu'ils boivent, et aussi dans les tissus des plantes ou des autres animaux qu'ils ingèrent; les végétaux les trouvent dans les sucs ou dissolutions aqueuses dont la terre est sans cesse imprégnée.

(*) Voir le chapitre DIGESTION, art. *Aliments*.

Ainsi la matière organisée animale se produit et se régénère au moyen de la matière organisée végétale : les plantes semblent avoir reçu la mission de constituer les premiers composés organiques en combinant le carbone, l'hydrogène, l'oxygène et l'azote que le milieu ambiant leur a fournis sous forme d'eau, d'acide carbonique et d'ammoniaque. La nutrition, ou pour mieux dire, l'assimilation végétale détermine un premier degré d'organisation qui nous élève des éléments chimiques de la matière vivante aux substances variées que la chimie a découvertes dans les tissus des plantes. L'assimilation animale reprend ces substances à ce premier degré d'organisation et les transforme en de nouvelles matières capables de constituer les organes plus parfaits ou plus complexes des animaux. En d'autres termes, la *matière inorganique*, une fois entrée dans la vie, subit une série de modifications qui tendent à l'élever sans cesse davantage, à la vitaliser de plus en plus, jusqu'au moment où, ses transformations étant accomplies, elle retourne à la matière brute pour recommencer un nouveau cycle de vie. Envisagée de cette manière, la nutrition établit entre les deux règnes organiques une solidarité qui ne permet plus de considérer cette fonction isolément dans l'un d'eux. L'albumine animale, par exemple, n'a pu se former qu'aux dépens des tissus végétaux ingérés à titre d'aliments ; c'est donc à travers l'assimilation végétale qu'il faut aller rechercher son origine pour voir les éléments chimiques qui la constituent s'unir en une première combinaison de nature organique. — Ainsi, la matière vivante prend naissance dans un grand travail d'ensemble : commençant à l'absorption exercée par les plantes, elle subit sa première phase dans l'organisme végétal et en traverse une seconde dans l'organisme animal où elle atteint son plus haut degré de vitalité. Puis, quand elle a cessé de vivre, ses éléments constituants se désagrégent, entrent dans des combinaisons nouvelles, telles que l'eau, l'acide carbonique et l'ammoniaque, produits dans lesquels se résolvent, en définitive, toutes les matières animales en putréfaction. Ces matières, dont la composition est ordinairement si complexe, retournent donc, comme on le voit, aux combinaisons inorganiques qui avaient servi aux plantes à les élaborer. Ainsi tout se lie, tout s'enchaîne, tout se continue ; la vie entretient la vie, et la mort sert à la renouveler suivant des lois éternelles.

A l'étude des phases diverses de l'assimilation, chez les plantes, commence donc tout naturellement l'histoire de la production de la matière vivante, et c'est en effet à cette étude qu'il appartient de nous révéler l'ordre invariable des transformations et combinaisons des éléments primordiaux de la substance organique. Ainsi l'ont pensé les physiologistes et les chimistes les plus éminents. « Les plantes, dit Dumas (1) se nourrissent des excrétions animales, c'est-à-dire, de l'*eau*, de l'*acide carbonique*, de l'*oxyde d'ammonium ;* elles reçoivent ces aliments par l'intermédiaire de l'air... Une plante qui végète pendant quelque temps présente une incontestable accumulation de matière dans tous ses tissus : elle acquiert du *carbone*, de l'*hydrogène*, de l'*oxygène* et de l'*azote ;* elle acquiert aussi des matières terreuses et minérales. »

Des expériences nombreuses, exécutées surtout par Boussingault (2) et par Dumas (3), ont nettement précisé les faits à cet égard :

L'organisme végétal puise à deux sources l'acide carbonique dont il a besoin :

(1) *Chimie physiol. et médic.* Paris, 1846, p. 431 et suiv.
(2) *Economie rurale*, t. I, chap. I.
(3) *Loc. cit.*

mprunte directement à l'atmosphère et il l'absorbe par les racines. Le *carbone* a plante provient essentiellement de la décomposition de cet acide. — L'*hy-ène* résulte de la décomposition de l'eau absorbée par les racines, par les les et toutes les parties jeunes ou formées de tissus perméables et humides. — ote qui s'introduit dans le végétal provient de l'air ou du sol enrichi d'en-: la forme sous laquelle il y pénètre est multiple, mais l'ammoniaque et ses s composés jouent un rôle prépondérant dans l'absorption de cet élément par lantes. — Quant à l'*oxygène*, il est emprunté à l'air atmosphérique et à l'eau mposée.

: ces matériaux ainsi acquis, le végétal fait un double usage : une portion est, ne il a été dit, consommée dans une oxydation comparable à celle qui existe les animaux, et retourne au dehors sous la forme d'acide carbonique et de ar d'eau ; une autre portion est assimilée en s'engageant dans des combinai-d'une nature spéciale dont divers produits constituent la substance même de nte. — La graine, qui renferme la plante à l'état rudimentaire, offre déjà sortes de matières organiques qui résultent de ce premier travail organisa-: 1° un *principe protéique* ou *albuminoïde*; 2° un *principe amylacé* ou é; 3° un *principe gras*. Dans une trame vivante (*tissu cellulaire*) viennent se ser ces trois espèces de principes immédiats. Puis, le développement ultérieur plante leur ajoute d'autres substances qui s'en rapprochent, comme la cellu-, les gommes, les mucilages, la glutine, etc., ou qui en sont distinctes, comme ines matières salines et minérales.

s *matières protéiques* (*) ont une composition à peu près identique pour cha-d'elles, ce qui explique comment, dans l'économie, elles peuvent et doivent r, avec la plus grande facilité, de l'une à l'autre.

tte composition comparée est la suivante (1) :

	Fibrine végétale ou animale.	Caséine végétale ou animale	Albumine végétale ou animale.	Glutine.	Légumine.	Amandine.
Carbone.....	52,75	53,56	53,47	53,05	50,75	50,90
Hydrogène...	6,99	7,10	7,17	7,17	6,73	6,50
Oxygène....	23,69	23,47	23,64	23,84	24,03	24,10
Azote.....	16,57	15,87	15,72	15,94	18,49	18,50
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

précédente composition donnerait pour formule atomique de $C^{18}H^{72}O^{14}Az^{12}$ $H^{82}O^{18}Az^{15}$.

s *matières amylacées* ont pour formule générale $C^{12}H^{10}O^{10}$. L'amidon, l'inu-la dextrine, ont précisément cette composition ; la glycose qui en dérive con-en plus, à l'état anhydre, les éléments de 2 équivalents d'eau ($C^{12}H^{12}O^{12}$), et cre de fruits lui est isomère, tandis que le sucre de canne, extrait de la canne e la betterave, a une composition intermédiaire ($C^{12}H^{11}O^{11}$). D'autres sub-es sucrées d'origine végétale renferment un excès d'hydrogène, comme la ite ($C^{6}H^{7}O^{6}$), la dulcine et la phycite qui lui sont isomères ; la mannitane $^{6}O^{5}$) et ses isomères, la pinite, la quercite ; la mannide ($C^{6}H^{5}O^{4}$) ; la pha-nnite ($C^{21}H^{21}O^{20}$). — Les *gommes* ont une composition analogue à celle de don.

De πρῶτος, premier, qui tient le premier rang.

MALAGUTI, *Leçons élém. de chimie*, 2e édit., t. II, p. 49.

Les *matières grasses*, qui sont très abondamment répandues dans le règne org nique, végétal ou animal, paraissent à peu près identiques dans les deux cas. Po leur composition élémentaire, quelle que soit leur origine, on a : carbone, 7 hydrogène, 11 ; oxygène, 10. Les matières grasses sont donc beaucoup plus rich en carbone que les substances amylacées (carbone, 44, et eau, 56 pour 100), de plus une partie de leur hydrogène (9,75 sur 11) s'y trouve en excès par rapp à l'oxygène nécessaire pour former de l'eau ; deux conditions sur lesquelles n aurons à insister plus tard, et qui donnent aux matières grasses un pouvoir ca rifique bien supérieur à celui dont jouit le sucre ou l'amidon.

Enfin le *tissu cellulaire* des plantes est essentiellement caractérisé par l'un d'un principe protéique avec une substance que l'on nomme *cellulose* : avec variétés qu'elle offre dans diverses plantes, la cellulose affecte une compos toujours identique ($C^{12}H^{10}O^{10}$), qui est précisément la composition élémentaire l'amidon, sans qu'il soit permis néanmoins de confondre sous d'autres rapp ces deux substances. On a pu considérer la cellulose comme formée uniquem de carbone (44 pour 100) uni à de l'eau (56 pour 100), et l'on sait que l'amid la dextrine, les matières sucrées végétales peuvent être envisagés de la m manière, ainsi que les gommes ($C^{12}H^{10}O^{10}$). — Avec un radical, le *carbone*, de l'eau, les plantes peuvent donc produire toutes ces dernières substances répandues dans leurs organes (1).

Si l'on ajoute à ce premier ordre de faits, l'intervention de l'ammoniaque, verra ce corps fournir de l'*hydrogène* et de l'*azote*, et l'on pourra dès lors co cevoir qu'il y ait, dans la plante, des matières azotées et d'autres où l'hydrog est en excès pour former de l'eau avec l'oxygène qu'elle renferme. La décomp sition de l'ammoniaque, en s'ajoutant à celle de l'acide carbonique et de l'e peut en effet expliquer ici la production des *matières protéiques* à compos quaternaire (albumine, fibrine, etc.), et celle des matières surhydrogénées com les *matières grasses* ou bien comme les huiles volatiles (essences), les résines, l matières colorantes, etc.

Tel est, d'une manière générale, le lien que l'on a pu saisir entre la matiè végétale sous ses mille formes et les aliments de nature si élémentaire que la plan emprunte au sol et à l'atmosphère. C'est dans l'espèce de réservoir de toutes l matières organisées par la plante que l'animal viendra puiser les éléments de propre substance, en y adjoignant, comme nous le constaterons bientôt, de l'eau, divers principes minéraux le plus souvent destinés à être simplement déposés les tissus. — L'introduction de certaines matières de nature minérale est aussi un besoins des végétaux, et la nature de ces matières, réclamée par telle ou telle es est une des causes qui, jusqu'à présent, expliquent le mieux l'aptitude des diver à des cultures différentes. L'observation a démontré, en effet, que les alcalis et sels terreux qui se rencontrent dans les plantes ou dans leurs graines ont été p mitivement tirés du sol (2) ; et, parmi toutes les expériences exécutées sur ce s celles de Lassaigne sont si décisives, qu'il nous paraît utile de rappeler la suiv « Je plaçai, dit-il, 10 grammes de graines de sarrasin (*Polygonum fagopy* dans une capsule de platine contenant de la fleur de soufre lavée, et que j'

(1) BOUSSINGAULT et DUMAS, *Essai de statique chimique des êtres organisés*, p. 55 et s 2e édit. Paris, 1842.

(2) TH. SAUSSURE, *Recherches chimiques sur la végétation*, passim. — BOUSSINGAULT, *Éc nomie rurale*, t. I, p. 85 et suiv. — BERTHIER, *Traité des essais, etc.*, t. I, p. 259.

humectée avec de l'eau distillée récemment préparée; je la posai sur une assiette de porcelaine qui contenait un demi-centimètre d'eau distillée, et je recouvris le tout avec une cloche de verre, à la partie supérieure de laquelle il y avait un robinet qui, au moyen d'un tube de verre recourbé en siphon et terminé par un entonnoir, me permettait de verser de l'eau de temps en temps sur le soufre. Au bout de deux ou trois jours, les graines avaient germé pour la plus grande partie; on continua de les arroser tous les jours, et, dans l'espace d'une quinzaine, elles avaient poussé des tiges de 6 centimètres de hauteur, surmontées de plusieurs feuilles. On les rassembla avec soin, ainsi que plusieurs graines qui n'avaient point levé, et on les incinéra dans un creuset de platine; la cendre qu'on en obtint pesait 0,220 grammes : soumise à l'analyse, elle a donné 0,190 de phosphate de chaux, 0,25 de carbonate de chaux, et 0,5 de silice. — Dix grammes de ces mêmes semences incinérées fournirent la même quantité de cendre formée exactement des mêmes principes. »

Comme d'ailleurs il a été démontré par de nombreuses analyses de cendre végétale, dont les plus importantes sont dues à Berthier (1) et à Boussingault (2), que, d'une part, la nature des cendres fournies par une espèce donnée varie selon la nature du sol où elle a végété, et que, d'autre part, les espèces diverses de plantes exigent de la terre des matières minérales différentes, on en a pu conclure que, si certains sols se refusent à nourrir telle ou telle espèce, cela tient en grande partie à ce qu'ils ne peuvent lui fournir les substances minérales qui lui sont spécialement nécessaires.

Cet exposé sommaire de la nutrition, dans les plantes, suffit pour nous éclairer sur les conditions du phénomène, en même temps qu'il fournit les éléments d'une comparaison indispensable à établir avec la nutrition des animaux qui doit plus spécialement fixer notre attention. Cette comparaison peut seule, en nous plaçant à un point de vue général, faire embrasser dans leur ensemble les phénomènes relatifs à l'entretien des organismes vivants. Aussi devrons-nous y revenir incessamment, tout en suivant la série des faits connus à cet égard chez les animaux. — Le précédent exposé nous permet aussi de tracer le plan qu'il semble le plus convenable d'adopter dans l'étude de la nutrition. Sans aucun doute, nos moyens d'investigation ne sauraient atteindre avec la même facilité les actes de nutrition dans toutes les phases de leur accomplissement : nous pouvons nous faire des notions assez complètes des matériaux employés pour nourrir, et nous pouvons également constater avec quelque précision un certain nombre des résultats du travail nutritif. Mais, entre ces données il reste une lacune : dans les profondeurs difficilement pénétrables de l'organisme, se sont accomplis bien des phénomènes dont la nature ne peut guère jusqu'ici être soupçonnée que par la connaissance des matières premières qui y ont pris part et par l'examen des effets observables qu'il est permis de leur attribuer.

Nous diviserons donc l'histoire générale de la nutrition en trois parties. — Dans la première, nous occupant des matières alimentaires ou des *matériaux propres à la nutrition*, nous résumerons, au point de vue dont il s'agit, un sujet longuement traité dans un autre chapitre de cet ouvrage, à propos de la

(1) *Loc. cit.*
(2) *Ouvr. cit.*, t. I, p. 94.

digestion (*). — Dans la seconde partie, nous chercherons à préciser les *résultats définitifs de la nutrition*, considérés dans leurs rapports avec l'accroissement ou l'entretien des organes, et aussi avec l'élimination de produits variés dont la perte est compensée par l'acquisition de matériaux nouveaux.

Ces deux premières parties comprennent les données les plus positives, celles qui se déduisent le plus directement de l'observation et de l'expérience.

Quant à la troisième partie, où seront étudiés les *actes intimes de la nutrition*, elle a pour base les inductions qui découlent des deux premières, inductions contrôlées avec plus ou moins de rigueur par une expérimentation toujours difficile et souvent obscure dans ses indications. — Là, en exposant la théorie de la nutrition, nous nous efforcerons de déterminer, aussi exactement que possible, la véritable nature de l'*assimilation*, et la manière dont on doit concevoir le phénomène habituellement désigné sous le nom de *combustion nutritive*.

Il nous faudra incidemment traiter de la *régénération* des organes mutilés, qui est un effet exceptionnel de nutrition, et aussi de l'action que certaines substances *toxiques* ou *médicamenteuses* peuvent exercer sur les actes nutritifs les plus intimes.

L'âge de l'individu, la nature des travaux qu'il exécute, son genre de vie, les mœurs naturelles ou artificiellement acquises qu'on lui connaît, le climat sous lequel il vit, etc., sont autant de *conditions* qui influent sur les résultats et les produits de la nutrition ; nous ne saurions donc non plus les passer sous silence.

Enfin, comme complément naturel de l'histoire de la nutrition, suivra un chapitre spécialement consacré à l'étude de la CHALEUR ANIMALE.

§ I. — Des matériaux propres à la nutrition des animaux.

Les matériaux que les animaux empruntent au monde extérieur pour satisfaire aux besoins de la nutrition pénètrent dans leur organisme par les voies diverses de l'absorption. Si, chez les animaux supérieurs, c'est par l'entremise de la membrane muqueuse pulmonaire que le principe vivifiant de l'air (*gaz oxygène*) pénètre dans les voies circulatoires, c'est par la membrane muqueuse digestive et ses vaisseaux que s'engage le *produit liquide de la digestion* pour venir se mêler au sang, rendez-vous commun de tout ce qui est absorbé. Les muqueuses pulmonaire et digestive sont donc, comme surfaces absorbantes, les plus importantes de toutes, puisqu'elles sont essentiellement chargées d'introduire dans l'organisme les matériaux propres à réparer ses pertes. Quant aux autres surfaces membraneuses, la peau surtout, elles peuvent aussi absorber des substances qui arrivent à leur contact et parmi lesquelles il faut mentionner l'eau, avec les sels qu'elle tient en dissolution ; eau et sels, qui d'ailleurs s'introduisent également par les muqueuses digestive et pulmonaire. Telles sont donc les voies par lesquelles les principes nutritifs pénètrent dans les organismes supérieurs. Mais souvent, chez des animaux inférieurs, la vie aquatique rend l'appareil respiratoire superficiel et confond plus ou moins complétement les deux surfaces respiratoire et cutanée, que l'on peut dès lors, et pour bien des raisons, considérer comme dépendantes l'une de l'autre. — Placé au précédent point de vue, on se représente donc l'animal absorbant, par sa peau et sa muqueuse respiratoire (distinctes ou confondues),

(*) *Voir ci-dessus*, p. 33 et suiv.

ne atmosphérique, l'eau, avec quelques autres substances d'une composition ple, et, par sa muqueuse digestive, les matériaux plus complexes extraits ments. L'*eau* abonde évidemment dans ces deux courants d'absorption, l'animal, elle va ou bien jouer un rôle actif sous la forme même de pro- d'hydrogène, ou fournir, en se décomposant, de l'oxygène et de l'hydro- lisés dans la constitution de la matière animale. Quant aux *matériaux* *aires* proprement dits, ils sont plus spécialement appelés à fournir à cette le carbone, l'hydrogène et l'azote. Bientôt nous aurons à examiner ces avec les développements qu'elles réclament.

tudiant la digestion (1), nous avons dit avec détail comment on peut les substances alimentaires habituellement consommées par l'homme et maux supérieurs. — Il y a lieu de les distinguer d'abord en *aliments* ques et en *aliments inorganiques*. Les premiers, si divers qu'ils soient, t se rapporter à trois groupes dont chacun, pour devenir absorbable, les changements spéciaux. Le tableau suivant reproduit ces différentes s :

ts de ro que.	Azotés ou plastiques	1° Matières albuminoïdes...		Albumine.
				Fibrine.
				Caséine.
				Gélatine et chondrine.
				Glutine.
				Légumine, amandine, etc.
	Non azotés ou respiratoires (*)...	2° Matières grasses.....		Beurre.
				Huiles fixes.
				Graisses, etc.
		3° Matières amylacées et sucrées.....	Amylacées.	Amidon.
				Inuline.
				Cellulose.
				Gommes.
				Mucilages.
				Pectose, etc.
			Sucrées...	Glycose ou sucre d'amidon.
				Sucre de canne.
				Sucre liquide ou de fruit.
				Lactose, etc.
ts de nature inorganique.....				Eau.
				Chlorure de sodium.
				Composés ferrugineux.
				Phosphate de chaux, etc.

ie, chez les êtres organisés, n'est possible qu'à la condition que leurs tissus continuellement pénétrés de liquides. De là l'importance des *boissons*. Il de ce que nous en avons dit (p. 65), que, sous leur forme liquide, elles peu- troduire aussi dans l'économie des principes alimentaires semblables ou ana- à ceux que renferment les aliments solides, et notamment des sels inorga- qui entrent eux-mêmes dans la composition des parties solides et liquides anisme. Hâtons-nous de faire observer que, pour les animaux, l'*eau* est la isson, et que les autres, telles que les liqueurs alcooliques, les préparations , de café, de chocolat, le bouillon, etc., ne concernent absolument que

ir ci-dessus, p. 34 et suiv.

ns avons fait connaître précédemment (p. 35) les raisons qui empêchent d'accorder une op absolue à la division des aliments en *plastiques* et en *respiratoires*; cette division lée que d'une manière générale.

l'homme et exceptionnellement quelques animaux domestiques qu'il associe mode d'existence. Mais, si l'on considère ces boissons créées par l'ind humaine, on fera aussi sans difficulté rentrer dans la classification préc les différents principes alimentaires qu'on y rencontre. Toutes ces boissons tiennent, avant tout, une forte proportion d'*eau*. L'*alcool*, qui se présente e dérive exclusivement des matières sucrées et s'y rattache entièrement substance alimentaire. Le *thé*, le *café* et le *chocolat* sont de véritables diss de matières nutritives; le *bouillon* offre particulièrement ce caractère, avons établi (1) que sa composition autorise même à lui attribuer un pouvoir assez étendu. Le *lait* est également cité comme une sorte de boisson : doit regarder ce liquide comme un *aliment tout spécial*, préparé nature pour nourrir, sans le secours d'aucune autre substance alimentaire, de animaux à l'époque de leur développement. Aussi le lait semble-t-il être de tout régime alimentaire complet, et, en rappelant sommairement sa co sition, donne-t-on une sorte de résumé du tableau précédent : le lait rensf en effet, de la *caséine* et de l'*albumine*, du *beurre*, de la *lactose*, des *sels* *raux* et de l'*eau* en très notable proportion, c'est-à-dire des matières al noïdes, des matières grasses, des matières sucrées et des sels inorganiques, un véhicule liquide qui lui-même joue dans la nutrition un rôle des plus portants.

Nous n'avons pas à nous étendre davantage ici sur l'origine et la compo des aliments que nous avons déjà examinées ailleurs avec tous les développe nécessaires (p. 33-90). Il nous faut maintenant rappeler, de la manière la succincte, les changements spéciaux que doivent subir les divers aliments d'o gine organique, pour devenir absorbables. C'est ainsi que nous avons vu (2) q présence de la pepsine acidifiée, tous les aliments albuminoïdes ou azotés don naissance à un produit unique, quoiqu'un peu diversifié dans ses réactions, désigné sous le nom d'*albuminose* ou de *peptone*; que, pour remplir leur spécial dans la nutrition des animaux, les aliments hydrocarbonés (fécule, cres, etc.) subissent d'abord une transformation unique et se convertissent *glycose* (*); qu'enfin, l'*émulsionnement* des substances grasses alimentaires, c à-dire leur division en particules d'une finesse extrême, précède habituell leur absorption. — C'est en effet sous les différents états d'albuminose, de gly et d'émulsion, que pénètrent dans l'économie ces divers aliments, dont les paraissent concourir plus spécialement à l'assimilation, et les autres à l'entr de la respiration ou à la production de la chaleur animale.

Quant à l'*eau* ingérée dans l'estomac, elle se trouble par son mélange av produits de sécrétion de cet organe; une partie passe dans l'intestin grêle, l'a est absorbée sur place, mais sans transformation préalable. Les *boissons alcooli* pures de tout mélange, ne subissent aussi d'autre altération que d'être éte par le suc et le mucus gastriques, la salive et les autres liquides digestifs. Les *alcalins* solubles, renfermés dans les aliments, passent avec l'eau, avec les

(1) Voir ci-dessus, p. 71.

(2) Consultez pour les détails, le chapitre *Digestion*, p. 219 et suiv.; 261, 274.

(*) La fermentation prolongée de la *glycose* elle-même, au contact des matières azotées, donner naissance, dans l'intestin grêle, à de l'*acide lactique* et à de l'*acide acétique*, puis à de l'*butyrique*, avec dégagement d'hydrogène et d'acide carbonique, gaz qui se rencontrent parmi les produits gazeux de l'intestin.

rique et salivaire, sans être altérés. Les *métaux* et les *sels terreux* ont donné à de nombreuses controverses sous le rapport de leur solubilité dans le suc rique; toujours est-il qu'une fois dissous, ils sont aussi absorbés, en nature, par muqueuse intestinale. Ainsi, il faut admettre que, dissous dans les liquides de nomie, où l'eau occupe une si large place, les principes ou aliments minéx pénètrent dans l'organisme animal *avec leur constitution primitive* et sans re changement que leur dissolution même dans les liquides aqueux. — C'est donc contraire de ce qu'on observe pour les aliments d'origine organique qui ne sont rbés qu'à la condition d'avoir subi dans l'intestin certaines transformations lables.

Nous avons fait entrevoir, plus haut, que l'*albuminose* ou *peptone* n'est pas lument identique, suivant qu'elle provient de l'albumine, de la fibrine ou la caséine. En effet, d'après les analyses de Lehmann (1), il y aurait entre les ses peptones quelques différences dans la composition élémentaire, et il en terait aussi, suivant L. Corvisart (2), dans les réactions. Cela porte donc à re que, si chaque principe albuminoïde donne en effet une peptone diffé-te, c'est pour répondre à des besoins différents de l'économie. Ces divers duits azotés solubles et absorbables, élaborés par la digestion, auraient d'ail-rs la même composition chimique et à très peu près la même constitution éculaire que les substances desquelles ils procèdent, et, par conséquent, ils raient remplacer ces dernières dans l'organisme. Au point de vue physiolo-ue, la solubilité si grande des diverses peptones semble être le seul changement rté par la digestion aux matières azotées puisées dans les aliments, et l'on rait dire que l'absorption digestive introduit dans le sang de l'albumine, de la rine, etc., à peu près telles que les divers organes en réclament pour les assi-r à leur tissu. Or, si l'on considère que tout animal carnassier se nourrit de la r d'une espèce qui elle-même a emprunté ses aliments au règne végétal; que leurs il n'existe aucune différence essentielle entre les principales matières iques de l'un et l'autre règne, on sera amené à penser que les éléments iques de ces matières se sont primitivement combinés sous cette forme dans tissus de la plante pour passer ensuite dans la substance des animaux et la con-ner. Ce point de vue permet de concevoir les liens les plus intimes entre la ma-re organisée des animaux et celle des plantes, en même temps qu'il fait pres-tir de grandes analogies dans les phénomènes essentiels de leur nutrition.

Un autre ordre de phénomènes digestifs a pour mission de préparer, pour l'ab-ption, les *matières grasses* de la masse alimentaire. Ces matières étant insolu-s dans l'eau, ce n'est pas à l'aide de ce véhicule, nous l'avons vu, qu'elles peu-t être absorbées par les surfaces digestives. Sous l'influence de la bile, du suc créatique et du suc intestinal, elles se transforment en des *émulsions* (*) où, sans rer leur nature, le travail digestif a surtout modifié leur état physique. Ici, conséquent, la matière grasse alimentaire sera absorbée à un état aussi voisin possible de celui sous lequel elle a été ingérée; mais, comme les graisses étales et les graisses animales n'offrent peut-être pas entre elles autant d'ana-

1) *Physiol. Chemie*, t. II, p. 54.
2) *Études sur les aliments et les nutriments*. Paris, 1854, p. 41.

*) Du moins il en est ainsi chez les mammifères. Dans les oiseaux, les reptiles et les poissons, émulsionnement des graisses ne paraît pas précéder nécessairement leur absorption. Il est vrai que ers auteurs admettent, sans preuves directes, que, chez ces vertébrés, les matières grasses passe-t dans les veines où leur aspect émulsif serait masqué par le mélange avec le sang.

logies qu'il en existe entre les matières albuminoïdes provenant des animaux ou des plantes, nous aurons plus tard à rechercher les changements que subissent les graisses végétales pour constituer la graisse des animaux, et aussi surtout quelle autre origine on peut assigner à cette dernière substance.

Quant aux *aliments hydrocarbonés* (fécule, sucres, etc.), ils trouvent, principalement dans les sucs pancréatique et intestinal, des agents qui les changent en *glycose*, et qui complètent ainsi l'effet commencé par la salive. Il est assez généralement admis que la plus grande partie de la glycose qui en provient est absorbée sous cette forme, tandis qu'une faible partie seulement éprouve la fermentation lactique. Il est vrai que, n'ayant pu constater que la présence de lactates et non celle de la glycose dans les voies de l'absorption chez des animaux nourris de matières féculentes, Lehmann (1) a été amené à croire que la transformation ultérieure de la glycose en acide lactique était la condition de l'absorption des féculents; mais les expériences si nombreuses et si bien instituées de F. G. de Becker (2) ne sauraient laisser subsister une pareille opinion, puisqu'elles démontrent que réellement la plus forte portion de la glycose formée pénètre, en nature, dans le système vasculaire.

En résumé, la digestion fournit à l'absorption stomacale et intestinale: 1° des *émulsions* de matières grasses; 2° des *dissolutions* de principes protéiques convertis en peptone, de matières sucrées et de sels minéraux.

Dans l'espèce humaine, les boissons introduisent habituellement dans ces dissolutions quelques autres substances dont l'*alcool* est la plus importante. Nous dirons plus loin quel rôle ces dernières ajoutées à l'alimentation peuvent jouer dans l'accomplissement du travail nutritif.

Il ne suffit pas d'avoir passé en revue tous les matériaux alimentaires qui concourent à la nutrition, ni d'avoir fait connaître les formes diverses sous lesquelles ces matériaux deviennent absorbables et miscibles au sang. On doit encore savoir que, pour que ce dernier fluide acquière des qualités directement nutritives, il faut l'intervention d'un élément essentiel que les animaux trouvent et puisent incessamment dans l'atmosphère, l'*oxygène*, agent de toutes les transformations ultérieures que la matière organique doit subir dans le sang, par suite de la *combustion nutritive*. Commune aux animaux et aux plantes, l'absorption de cet agent gazeux constitue, en effet, une des conditions fondamentales des fonctions de nutrition. Nous savons déjà à l'aide de quels organes et dans quelles circonstances cette absorption s'accomplit dans les deux règnes organiques (*).

Après le précédent exposé concernant les *matériaux propres à la nutrition* et leurs conditions d'introduction dans l'économie animale, il nous faut constater ce qui ultérieurement est éliminé hors du corps vivant et ce qui reste en lui pour l'entretenir ou l'accroître; nous allons, en un mot, rechercher maintenant quels sont les résultats ou les *produits définitifs de la nutrition*.

(1) *Physiol. Chemie*, t. III, p. 341-344.
(2) *Zeitschrift für Zoologie*, etc., de SIEBOLD et KÖLLIKER, déc. 1853.

(*) Voir ci-dessus, p. 439 et suiv., le résumé des expériences de GARREAU relatives à l'absorption de l'oxygène atmosphérique par les plantes.

§ II. — Des produits définitifs de la nutrition.

Nous avons suivi aussi loin que possible (jusque dans le sang) les matériaux propres à la nutrition, c'est-à-dire l'oxygène et les diverses substances alimentaires déjà élaborées dans les voies digestives. Ne pouvant observer directement toutes les transmutations et réactions que subissent ces différents matériaux à mesure que la circulation les promène à travers l'appareil respiratoire et les autres parties du corps, nous allons, pour le moment, porter surtout notre attention sur les produits définitifs de ces réactions accomplies dans le sang. — Certaines substances, nous l'avons dit, demeurent fixées dans l'organisme par *assimilation*, tandis que d'autres sont expulsées au dehors par les *excrétions;* distinction importante à rappeler dans l'examen des résultats du travail nutritif, et à suivre sous le rapport de la marche naturelle qu'elle indique. Étudiant donc d'abord, au point de vue de leur composition, les matières éliminées du corps par les excrétions de tous genres, nous dirons ensuite la constitution des tissus animaux formés par l'assimilation. Dans la réunion de ces deux classes de produits, devront évidemment se retrouver, sous une forme plus ou moins éloignée de leur forme primitive, tous les matériaux empruntés au dehors pour satisfaire aux besoins de la nutrition.

Les animaux rejettent des *fèces* par le tube digestif (*), de l'*urine* par l'appareil rénal, des *produits aériformes* par les surfaces respiratoires; l'*excrétion cutanée* (sueur, etc.) et divers produits fournis en assez minime quantité par quelques surfaces muqueuses, complètent le nombre des matières éliminées.

Précédemment (p. 278), nous avons indiqué, autant que le permet l'état de la science, par quelles modifications du chyme se produisent les *matières fécales*, et nous avons fait connaître, d'après les travaux de plusieurs chimistes modernes, la composition de ces matières. Il convient d'y revenir ici à un point de vue un peu différent. Berzelius (1) a nettement signalé les produits qui nécessairement sont renfermés dans les excréments ou résidus de la digestion. Suivant cet illustre chimiste, « ceux-ci doivent contenir : 1° les parties de la nourriture qui ont été épuisées, sans pouvoir se dissoudre; 2° ce qui s'est précipité de la bile ; 3° du mucus intestinal ; 4° de la bile non décomposée et non absorbée ; 5° des sels accumulés, et qui également n'ont point été absorbés. » Puis il cite une analyse des excréments humains qu'il a faite lui-même, et dont voici le résultat :

	Eau		75,3
Matières solubles dans l'eau.	Bile	0,9	5,7
	Albumine	0,9	
	Matière extractive particulière	0,7	
	Sels	2,2	
	Résidu insoluble des aliments digérés		7,0
	Matières insolubles qui s'ajoutent dans le canal intestinal, mucus, résine biliaire, graisse, matière animale particulière, etc		14,0
			102,0

(*) La *bile*, comme on le sait, est en partie expulsée avec les fèces.

(1) *Traité de chimie*, trad. franç. Paris, 1833, t. VII, p. 268 et 273.

Berzelius fait observer que les *proportions* qu'il indique ne doivent être considérées que comme des exemples dont les nombres n'ont de valeur que pour le cas dont il s'agit, et doivent varier sans cesse en raison des aliments, des boissons, de l'état de santé, etc. Mais ce qui nous intéresse pour l'instant, c'est la nature des substances contenues dans les fèces, et non leurs quantités relatives; or, l'analyse précédente nous fournit justement quelques données à cet égard.

Einhof et Thaer (1) ont analysé les excréments des bêtes à cornes, mais au point de vue de leur emploi comme engrais; aussi ne saurait-on, au point de vue physiologique, regarder leur analyse comme complète, ni comme bien instructive. Dans leurs manipulations, ils obtinrent sur le filtre une matière verte mucilagineuse, qui exhalait une odeur semblable à celle de la bile de bœuf, et que néanmoins ils ont considérée, mais à tort, comme ne pouvant provenir de ce fluide, parce qu'elle brûle en répandant la même odeur qu'une substance végétale. — Morin a fait, des excréments frais des bêtes à cornes, une autre analyse plus complète qui est citée par Berzelius (2) :

Eau	70,00
Fibre végétale	24,08
Résine verte et acides gras	1,52
Matière biliaire (indécomposée)	0,60
Matière extractive particulière, nommée *bubuline* par Morin	1,60
Albumine	0,40
Résine biliaire	1,80
	100,00

Ces deux analyses ont encore révélé, dans les fèces, la présence d'une certaine quantité de *sels minéraux*, la plupart solubles.

Chez l'homme, Berzelius trouva ces sels formés par du carbonate, du sulfate et du chlorure sodiques ($\frac{3}{5}$ des cendres obtenues), du phosphate magnésique ($\frac{2}{15}$), et du phosphate calcique ($\frac{4}{15}$). Morin, chez les bêtes à cornes, retira d'excréments frais 2 pour 100 de cendres, dans lesquelles il reconnut du sulfate potassique, du chlorure, du carbonate et du phosphate calciques, de la silice, de l'alumine et de l'oxyde ferrique. — La nature de ces principes minéraux, comparée à la constitution chimique des aliments de chaque espèce, porte à croire que ces matières salines proviennent, du moins en grande partie, des substances ingérées. Toutefois ces sels entrant aussi dans la composition de la salive, du suc gastrique, de la bile, du suc pancréatique et du suc intestinal, leur origine dans les fèces peut être diversement expliquée.

Les fèces des oiseaux et des reptiles ont été aussi l'objet de recherches chimiques; mais il importe ici, pour apprécier les résultats, de se rappeler que, chez ces animaux, le canal digestif, au lieu de s'ouvrir directement au dehors, aboutit dans une cavité commune, le *cloaque*, où les voies urinaires viennent aussi verser leur produit. Les matières fécales des vertébrés de ces deux classes correspondent donc aux fèces et aux urines des mammifères et de l'homme. — On doit à Braconnot une analyse des excréments du rossignol; cette analyse, également rapportée par Berzelius (3), a fourni les résultats suivants :

(1) *Grundsätze der rationellen Landwirthschaft*, t. IV.
(2) *Ouvr. cit.*, t. VII, p. 278.
(3) *Ouvr. cit.*, t. VII, p. 282.

Acide urique avec sururates potassique et ammoniaque	52,7
Extrait insoluble dans l'alcool	33,3
Phosphate calcique, ferrifère	4,3
Sulfate potassique	3,3
Matière biliaire	2,8
Chlorure potassique	0,8
Phosphates potassique et ammonique	0,8
Acide combustible, uni à l'ammoniaque	0,7
Phosphate ammoniaco-magnésique	0,2
Acide lactique libre et un peu d'acide acétique	0,3
Mucus intestinal	0,3
Résine biliaire, matière noire	0,3
Acides gras	0,2
Chlorure ammonique estimé à	0,2
	100,2

re but, en citant les divers résultats qui précèdent, a été, en partie, de prouver s fèces des animaux, du moins celles des animaux supérieurs, ont toujours aux observateurs des substances provenant évidemment de la bile, et d'appuyer ur des données expérimentales l'assertion de Berzelius qui a été rapportée plus Or, si l'on réfléchit que tous les liquides digestifs n'ont pas le privilége de con- des éléments caractéristiques faciles à retrouver comme ceux de la bile, et ur conséquent, il n'y a pas lieu d'espérer de découvrir dans les fèces la trace alive, du suc gastrique, des fluides pancréatique et intestinal, on est au moins it à supposer qu'à l'exemple de la bile ces divers produits de sécrétion peuvent ussi abandonner aux excréments une portion de leur substance, pour être éli- du corps. —Les matières fécales ne sauraient donc être exclusivement consi- comme des résidus d'aliments ou de substances réfractaires à l'action digestive; ontiennent aussi de véritables produits excrétés provenant de l'organisme lui- (bile, etc.). Toutefois l'abondance ou la prédominance des débris d'aliments es mêmes matières est un fait au-dessus de toute contestation, et qu'il nous facile de mettre en évidence ailleurs en traçant l'histoire de la digestion.

composition élémentaire des fèces est plus facile à constater que sa composi- n principes organiques, et elle a été maintes fois recherchée surtout à propos les agronomiques sur les engrais d'origine animale. Intimement liée à la e des aliments ingérés, cette composition a constamment offert les quatre nts habituels des matières organiques animales (carbone, hydrogène, oxygène te). — Il convient de rappeler que le plus souvent l'urine a été réunie aux pour les analyses de ce genre.

quantité proportionnelle d'azote contenue dans les fèces ne change pas d'ail- bien notablement lorsqu'on les analyse séparées de l'urine : si les résidus des nts n'en contiennent probablement pas, la portion excrémentitielle des liquides fs eux-mêmes peut en fournir assez pour expliquer ce que l'on en con- (1). Liebig (2) a donné quelques résultats de ce genre ; on en peut déduire s excréments d'un cheval (urine non comprise) renfermaient à l'état sec :

Carbone	38,7
Hydrogène	5,1
Oxygène	38,3
Azote	2,2
Sels et terre	15,7

LIEBIG, *Lettres sur la chimie*, trad. de Gerhardt, t. I, p. 256.
ann. de chim. et de phys., LXX, p. 136.

L'analyse des excréments d'une vache lui a donné à peu près les mêmes nombres.

Composition élémentaire de 100 parties pondérables de déjections fécales et urinaires, d'après BOUSSINGAULT (1).

DÉJECTIONS.		NOMS DES ESPÈCES.		
		Cheval.	Vache.	Porc.
A l'état sec.....	C.....	38,6	39,8	38,7
	H.....	5,0	4,7	4,8
	O.....	36,4	35,5	32,5
	Az.....	2,7	2,6	3,4
	Sels et terre...	17,3	17,4	20,6
A l'état humide..	C.....	9,19	5,39	6,97
	H.....	1,20	0,64	0,86
	O.....	8,66	4,81	5,85
	Az.....	0,65	0,36	0,61
	Sels et terre...	4,13	2,36	3,71
	Eau.....	76,17	86,44	82,00

Pour tenir un compte rigoureux des matières éliminées par le tube digestif, il fa aussi mentionner les *gaz intestinaux*, dont la totalité, il est vrai, n'est pas expul au dehors. L'oxygène, l'azote, l'acide carbonique, l'hydrogène, l'hydrogène ca boné, l'hydrogène sulfuré, et exceptionnellement, l'oxyde de carbone, tels s les divers gaz qui, en s'associant d'une manière variable, entrent dans la comp sition du produit gazeux de l'appareil digestif. L'acide carbonique et l'azote constituent la plus forte partie, et la proportion du premier semble augmenter mesure que l'on se rapproche de l'anus. Après avoir examiné la question des du tube digestif (*Digestion*, p. 281), nous avons été amené à conclure que science n'a pu encore établir rien de précis relativement à l'origine de chacu d'entre eux.

Avant d'abandonner le problème, jusqu'ici trop peu étudié, de la composition fèces, nous devons signaler l'importante différence qu'y introduit un régime exc sivement composé de viande. D'après Liebig (2), les excréments blancs et humi d'un chien nourri de viande et d'os se dessèchent à l'air en une poudre qui, outre phosphate calcaire des os, renferme à peine un centième d'une autre substance étra gère. Les excréments du lion et du tigre (3) sont en petite quantité et peu humide ils contiennent, pour la plus grande partie, de la substance osseuse et des traces se lement de matières carbonées. — Ainsi, les fèces des mammifères carnivor (d'ailleurs beaucoup moins abondantes que celles des omnivores et surtout d herbivores) paraissent formées principalement de la portion minérale des os de la proie, la véritable matière fécale étant réduite presque à rien. — Chez les oiseau carnivores et chez les serpents, l'urine devient la principale excrétion, et le tub digestif ne fournit plus relativement qu'une bien petite quantité de produit excrémentitiels.

(1) *Traité d'économie rurale*, t. I, p. 720.
(2) *Lettres sur la chimie*, t. I, p. 257, trad. cit
(3) LIEBIG, *Chimie organ.*, p. 62.

Nous examinerons plus loin les curieuses inductions que l'on a pu tirer de ces faits au sujet de l'alimentation de ces animaux et de la théorie générale de la nutrition.

Une des principales excrétions du corps des animaux supérieurs est confiée aux reins : c'est l'*urine*. Quoique nous ayons déjà étudié les propriétés physiques et chimiques de ce liquide excrémentitiel, il y a lieu de rappeler ici quelques résultats de cette étude comme pouvant concourir à l'interprétation des phénomènes nutritifs. — La composition chimique de l'*urine* offre surtout un grand intérêt à ce point de vue ; elle est d'ailleurs, comme celle des fèces, sujette à varier sous l'influence de circonstances diverses et particulièrement de l'alimentation.

Composition moyenne et normale de l'urine de l'homme, d'après LEHMANN (1).

Eau		931,41
Urée		32,91
Acide urique	1,07	2,62
— lactique	1,55	
Extrait aqueux		0,59
— alcoolique et aqueux		9,81
Lactate d'ammoniaque		1,96
Mucus		0,10
Sulfates alcalins	7,29	15,73
Phosphate de soude	3,66	
Phosphates de chaux et de magnésie	1,18	
Chlorures de sodium et d'ammoniaque	3,60	
Résidu solide		68,58

Composition de l'urine de mammifères herbivores, d'après BOUSSINGAULT (2).

	VACHE.	CHEVAL.	PORC soumis à un régime végétal.
Eau, matières indéterminées	921,3	910,8	979,1
Urée	18,5	31,0	4,9
Hippurate de potasse	16,5	4,7	0,0
Lactates alcalins	17,2	20,1	indéterm.
Matières minérales (bicarbonate et sulfate de potasse, carbonate de magnésie et de chaux, chlorure de sodium, phosphate, silice)	26,5	33,4	16,0
	1000,0	1000,0	1000,0

Composition de l'urine de mammifères carnivores (lion et tigre), d'après HIERONYMI (3).

Eau	846,10
Urée, extrait alcoolique et acide lactique	132,20
Acide urique	0,22
Mucus	5,10
Lactate de potasse	3,30
Matières minérales (sulfate de potasse, sel ammoniac, chlorure de sodium, phosphates terreux, alcalins et ammoniacaux)	13,08
	1000,00

(1) Cité par DUMAS, *Chim. physiol. et méd.* Paris, 1846, p. 541.
(2) *Ann. de chim. et de phys.*, t. XV, 3e série. — *Traité d'économie rurale*, t. I, p. 687.
(3) Cité par DUMAS, *Chim. physiol. et médic.*, p. 571.

En jetant les yeux sur ces analyses, on reconnaît que l'urine consiste essentiellement dans la dissolution aqueuse d'une substance organique, l'*urée*, et d'une certaine quantité de matières minérales, phosphates, sulfates, carbonates et chlorures alcalins, terreux et ammoniacaux. — La composition élémentaire de l'urée, qui doit être prise en sérieuse considération, est la suivante (1) :

Urée. — $C^2O^4Az^4H^8$.

	W. Prout.	Wœhler et Liebig.
Carbone	19,99	20,02
Hydrogène	6,65	6,71
Oxygène	26,63	26,54
Azote	46,65	46,73

L'urée est donc une substance très riche en azote; elle est peu différente, à cet égard, des sels ammoniacaux, puisqu'en lui ajoutant seulement 4 équivalents d'hydrogène, on obtient du carbonate d'ammoniaque, et que cette dernière transformation s'opère avec rapidité quand l'urine est abandonnée à l'air, par suite des altérations qu'y éprouvent les mucosités de ce liquide.

L'urine de l'homme et des carnivores renferme, avec l'urée, un acide organique spécial également azoté, l'*acide urique*. Celui-ci est remplacé, dans l'urine des herbivores, par un autre acide azoté, l'*acide hippurique*.

Acide urique. — $C^{10}O^6Az^8H^8$.

	Liebig.	Mitscherlich.
Carbone	36,08	35,82
Hydrogène	2,44	2,38
Oxygène	22,12	27,20
Azote	33,36	34,60

Acide hippurique. — $C^{18}O^6Az^2H^8$.

	Liebig.	Dumas.	Mitscherlich.
Carbone	60,74	60,5	60,63
Hydrogène	4,95	4,9	4,98
Oxygène	26,48	26,9	26,50
Azote	7,81	7,7	7,90

Si l'on tient compte, en outre, des autres matières ammoniacales que contient l'urine, on voit que la *proportion d'azote* renfermée dans cette excrétion est considérable; et c'est là, en effet, un de ses traits caractéristiques. — Dans les analyses faites par Boussingault (2), 100 parties d'urine de cheval ont donné 12,4 d'extrait sec, dont 1,55 d'azote; 100 parties d'urine de vache ont donné, sur 11,7 d'extrait sec, 0,44 d'azote; 100 parties d'urine de porc ont fourni extrait sec 2,08, dont 0,23 d'azote; enfin Jargensen, cité par Boussingault, a obtenu de 100 parties d'urine de mouton, 13,50 d'extrait sec, dont 1,31 d'azote.

Voici d'ailleurs, d'après Boussingault (3), les quantités d'azote rendues *en vingt-quatre heures* par les urines, dans diverses expériences instituées sur des herbivores :

(1) Liebig, *Chimie organique appliquée à la physiologie animale*, p. 343.
(2) *Economie rurale*, t. I, p. 781 et suiv.
(3) *Ouvr. cit.*, t. II, p. 381.

Cheval, sur	1330	grammes d'urine	38	grammes d'azote	=	30lit.,4
Vache....	8200	—	37	—	=	29lit.,5
Porc.....	3050	—	6,9	—	=	3lit.,5
Porc.....	1650	—	3,9	—	=	3lit.,12
Mouton...	476,7	—	6,2	—	=	4lit.,98

Les autres principes (carbone, hydrogène, oxygène) sont, relativement à l'azote, assez abondants, sans avoir la même importance. Dans les précédentes expériences, par exemple, les nombres obtenus pour les 24 heures ont été les suivants :

			Carbone.	Hydrogène.	Oxygène.
Cheval, sur	1330	grammes d'urine	109 gram.	11 gram.	34 gram.
Vache.....	8200	—	261	25	254
Porc.....	3050	—	7,6	1	16,3
Mouton....	476,7	—	20,4	2,5	13,1

Il reste à indiquer très sommairement la composition de l'urine des oiseaux et des reptiles ; mais, comme nous l'avons dit, on ne doit pas oublier que ces animaux expulsent de leur corps les excréments et les urines préalablement mélangés dans le cloaque. D'après Fourcroy et Vauquelin, l'urine de l'autruche contient $\frac{1}{60}$ de son poids d'acide urique ; Coindet a trouvé de l'urée dans l'urine des oiseaux carnivores, mais elle n'existe pas, suivant lui, dans celle des oiseaux phytophages où se rencontre du sururate d'ammoniaque. Chez les reptiles, on a également constaté la présence de l'acide urique ou de l'urée. Berzelius a trouvé l'urine de serpent, qui se concrète aussitôt après son émission, composée d'acide urique, de sururates de potasse, de soude et d'ammoniaque et d'un peu de phosphate de chaux ; suivant ce chimiste, l'urée n'y existe pas. J. Davy n'a reconnu que de l'urée, du chlorure de sodium et un peu de phosphate de chaux dans celle de la grenouille et du crapaud. D'après Magnus, l'urine de la tortue contient de l'acide urique et très peu d'urée. — Quant à la fiente des mollusques et à celle des insectes, elle renferme surtout de l'urate d'ammoniaque.

Après ce résumé de la composition habituelle des *fèces* et des *urines* de différents animaux, il nous faut mentionner celle des excrétions dont les surfaces respiratoire et cutanée sont le siége, et nous aurons ainsi groupé une série de faits pouvant concourir à éclairer, sous plus d'un rapport, la théorie des phénomènes nutritifs.

Dans une autre partie de cet ouvrage(*), nous avons établi que les animaux à respiration aérienne expulsent de leur corps, par les voies respiratoires, de l'*acide carbonique*, une certaine quantité d'*azote libre* et de l'*eau*. Les produits de la respiration aquatique ne sont différents qu'en ce qui concerne l'eau, dont la présence, en pareil cas, ne peut guère se constater à cause du milieu même où s'effectuent les actes respiratoires. Nous n'avons pas à revenir sur cet ordre de faits.

Quant aux matières éliminées par la surface tégumentaire externe, on sait que celle-ci n'a pas toujours une consistance qui permette une exhalation appréciable de matières à travers son tissu. Cependant, chez la plupart des animaux supérieurs, cette condition première se rencontre, et l'on voit que la peau est, avant tout, le siége d'une exhalation aqueuse à laquelle Lavoisier, qui la désigne sous le nom de *transpiration cutanée*, a assigné un rôle des plus importants : « La machine animale, dit-il (1), est gouvernée par trois régulateurs principaux : la *respiration*,

(*) Voir ci-dessus le chapitre RESPIRATION.

(1) *Mém. de l'Acad. des sciences de Paris*, année 1789, p. 580.

qui consomme de l'hydrogène et du carbone et qui fournit du calorique ; la *transpiration*, qui augmente ou diminue suivant qu'il est nécessaire d'emporter plus ou moins de calorique ; enfin la *digestion*, qui rend au sang ce qu'il perd par la respiration et la transpiration. » La transpiration cutanée ayant été étudiée précédemment, nous nous bornerons à rappeler ici que la quantité d'eau éliminée par cette voie est très variable, et qu'elle doit l'être, si le rôle attribué à la transpiration par Lavoisier est réellement celui qu'elle joue : car un phénomène physiologique, qui a pour but de modérer ou de régulariser d'autres phénomènes, doit nécessairement varier avec eux pour pouvoir établir une sorte d'équilibre.

Mais, indépendamment de l'exhalation produite à la surface de la peau, on y observe diverses sécrétions d'une importance plus ou moins grande, qui ont été signalées plus haut. La première de toutes est la *sueur*, que nous avons dit être composée d'une grande quantité d'eau contenant en dissolution ou en suspension de 0,5 à 2,2 pour 100 de principes solides. Sa composition, chez l'homme, d'après les analyses de P. Favre (1), est la suivante :

		Pour 10,000 grammes.
Eau		9955,733
Matières grasses		0,137
Urée		0,428
Lactates alcalins	3,171	18,844
Sudorates alcalins	15,623	
Albuminates alcalins	0,050	
Sulfates alcalins	0,115	24,857
Chlorure de potassium	2,437	
Chlorure de sodium	22,305	
Phosphates et débris d'épiderme		traces
		10007,999

Ainsi, la sueur renferme surtout, parmi les matières organiques, de l'*urée* et des combinaisons salines d'un acide particulier, l'*acide sudorique*, et, parmi les substances minérales, du *chlorure de sodium*. La composition de l'*acide sudorique* ou *hidrotique* est représentée par la notation $HO,C^{10}H^{8}AzO^{13}$; de sorte que c'est encore là une excrétion azotée qu'il faut ajouter à l'excrétion urinaire. — On se rappelle que la bile renferme aussi deux acides organiques azotés, l'*acide cholique* et l'*acide choléique*.

Il n'y a pas lieu de se préoccuper ici des autres sécrétions beaucoup moins abondantes que fournit la surface cutanée (matière sébacée, etc.) ; d'ailleurs la sueur, dont nous venons de rappeler l'analyse, en contient aussi les principes, et représente assez complétement l'ensemble des sécrétions éliminées par cette voie de l'économie. Mais il n'est pas sans intérêt de rappeler que la peau exhale, en outre, de l'*azote* et de l'*acide carbonique*, qui sont les produits d'une véritable respiration cutanée. — Ainsi se trouve complétée l'énumération des matières excrétées par la surface tégumentaire.

Nous avons donc maintenant parcouru la série des matériaux que le corps élimine par diverses voies pendant l'accomplissement de la nutrition : fèces, urine, produits rejetés par les poumons et par la peau, telles sont les principales matières dont il importait de rappeler ici la nature et la composition.

(1) *Mém. cit.*

Les matériaux nutritifs, avons-nous dit, ne sauraient se retrouver tous dans les produits éliminés, puisque l'assimilation en fixe une certaine quantité dans l'organisme pour constituer les tissus. Ce serait donc présenter un tableau incomplet les *résultats de la nutrition* et ne pas réunir tous les éléments nécessaires à la solution du problème qui nous occupe, que de négliger la composition des tissus animaux, dont la matière première est empruntée aux substances nutritives. Quant à la constitution de certains liquides que renferme l'organisme animal, nous n'avons pas à y revenir en ce moment, attendu qu'on ne saurait les regarder comme des produits définitifs de la nutrition. La *lymphe*, le *chyle* et le *sang*, transportent les produits intermédiaires dans lesquels se métamorphose la matière destinée à former les tissus ou à passer dans les excrétions ; ce n'est donc pas le lieu de fixer notre attention sur ces liquides organiques, desquels il sera question de nouveau et plus tard, à propos des transmutations des matériaux nutritifs. Chacun des liquides dont il s'agit a d'ailleurs été étudié en détail dans d'autres parties de cet ouvrage, auxquelles nous renverrons le lecteur quand il y aura lieu. — Pour l'instant, nous ne voulons que rappeler sommairement la constitution des tissus, celle de quelques matières solides qui s'y trouvent déposées, ou d'autres encore qui les imprègnent sous la forme liquide.

Les résultats qui ont été obtenus concernant la *composition des tissus*, s'accordent assez bien jusqu'à présent avec la classification adoptée par les anatomistes. Il s'agit, pour nous, d'examiner, au point de vue chimique, seulement les principaux de ces tissus.

Le *tissu musculaire* renferme d'abord, comme élément essentiel, des fibres propres; puis certains principes organiques qu'ailleurs nous avons déjà eu occasion de signaler : tels que la *créatine*, la *créatinine*, la *sarkine*, la *sarkosine*, l'*acide inosique*, l'*inosite* ; des portions d'autres éléments organiques (tissu cellulaire, graisse, vaisseaux sanguins et lymphatiques, nerfs); enfin des *lactates*, des *phosphates solubles*, etc.

La fibre musculaire a pour principe constitutif une substance que l'on a longtemps confondue avec la fibrine contenue dans le sang, que Liebig a le premier signalée comme une substance distincte, et que récemment on a désignée sous le nom de *musculine* (Robin et Verdeil) et de *syntonine* (Lehmann). — Un des traits distinctifs de la musculine s'observe dans la réaction de l'eau aiguisée d'un dixième d'acide chlorhydrique : ce liquide dissout assez rapidement la musculine, tandis que la fibrine du sang s'y gonfle et devient gélatineuse sans se dissoudre sensiblement. Les cendres de la première ne sont point ferrugineuses, tandis que celles de la seconde renferment du fer. La musculine est aussi réputée beaucoup plus nutritive que la fibrine du sang. A la musculine est jointe, dans les fibrilles musculaires, une autre substance nommée *sarcolemme*, ou membrane amorphe, lisse, qui enveloppe ces fibrilles et reste insoluble dans l'acide chlorhydrique étendu. Ces deux substances sont l'une et l'autre de nature azotée. La musculine a la même composition élémentaire que la fibrine du sang; quant au sarcolemme, il est d'une nature très voisine de celle des ligaments jaunes.

La *créatine* ($C^8H^{11}Az^3O^6$), la *sarkine* ($C^{10}H^4Az^4O^2$), la *sarkosine* ($C^6H^7AzO^4$), l'*acide inosique* ($C^{10}H^8Az^2O^{12}$), sont également des matières azotées; la *créatinine n'est peut-être qu'un produit de* laboratoire, mais sa formule $C^8H^7Az^3O^2$ y

annonce aussi la présence de l'azote. L'*inosite* ($C^{12}H^{12}O^{12}, 4HO$) est au contraire une matière sucrée isomère de la glycose. — Toutes ces substances font partie du liquide qui imprègne les fibres musculaires, et il en est de même des corps gras, parmi lesquels figure surtout l'*acide oléo-phosphorique*.

La créatine, la créatinine, l'acide inosique, etc., représentent, comme on le sait, un des premiers degrés des transformations éliminatoires des matières albuminoïdes.

Liebig (1) donne, comme il suit, d'après Playfair et Backmann, la composition élémentaire de la chair musculaire sèche du bœuf :

	PLAYFAIR.	BACKMANN.
Carbone	51,83	51,89
Hydrogène	7,57	7,59
Azote	15,01	15,05
Oxygène	21,37	21,24
Cendres	4,23	4,23

Si l'on rapproche de cette composition élémentaire celle de la fibrine animale ou végétale *purifiée*, on a :

Carbone	52,75
Hydrogène	6,99
Azote	16,57
Oxygène	23,69

Ces deux compositions, si l'on en défalque les cendres, sont représentées par la formule chimique $C^{48}H^{78}Az^{12}O^{15}$.

La *substance nerveuse*, grâce aux recherches de Fremy (2), est actuellement aussi bien connue. Ce savant analyste lui a assigné, chez l'homme, la composition suivante :

Eau		88
Albumine		7
Matières grasses	Margarine, Oléine, Cholestérine, Cérébrate, Oléophosphate, Oléate, Margarate de soude	5
		100

La substance nerveuse peut donc être regardée comme composée d'*eau*, d'*albumine*, de *matières grasses* et de *savons*. — L'*albumine*, une des principales matières azotées ou protéiques, isomère de la fibrine, nous est déjà connue ; sa proportion est évidemment très élevée dans la constitution de la substance nerveuse. — Les matières grasses neutres ou saponifiées ont également déjà fixé notre attention (*). La *margarine* a pour formule $C^{108}H^{104}O^{12}$; l'*oléine* offre une composition probablement identique; et la *cholestérine* peut se représenter ainsi : $C^{52}H^{44}O^{2}, 2HO$. — Quant aux acides gras combinés avec la soude, l'*acide margarique* ($C^{34}H^{34}O^{4}$) et l'*acide oléique* ont à peu près la même constitution. L'*acide oléo-phosphorique*, qui semble être une combinaison d'acide phosphorique et d'oléine, renferme 2 pour 100 de phosphore. Enfin l'*acide cérébrique* est un composé intermédiaire entre les véritables acides gras et les composés azotés qui ont la propriété de se combiner avec les bases; voici sa composition élémentaire :

(1) *Chim. organ. appliquée à la physiol. anim.*, trad. de Gerhardt, p. 335.
(2) *Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris*, t. IX, p. 703, et t. XI, p. 763.
(*) Voir ci-dessus, p. 47.

	FREMY.	THOMPSON.
Carbone	66,7	67,04
Hydrogène	10,6	10,85
Azote	2,3	2,24
Phosphore	0,9	0,46
Oxygène	19,5	19,41
	100,0	100,00

si la substance nerveuse renferme comme éléments chimiques (dans ses res grasses et dans son albumine), du *carbone*, de l'*hydrogène*, de l'*oxygène*, *zote* et du *phosphore;* à ces corps simples il faut joindre l'*eau* et une base ale, la *soude*.

tissu cellulaire et ses diverses variétés présentent un caractère commun tant à signaler : c'est l'aptitude à donner de la *gélatine* ($C^{12}H^{10}Az^2O^4$) par n prolongée de l'eau bouillante. Le derme cutané, la couche fibreuse des branes muqueuses et séreuses, les aponévroses, les tendons, les ligaments, la *re organique des os*, etc., donnent également naissance à ce produit. — Les *lages permanents*, la cornée de l'œil, etc., fournissent, au lieu de gélatine, un qui en diffère un peu et nommé *chondrine* ($C^{32}H^{26}Az^4O^{14}$).

ces faits on a conclu que tous ces tissus, dérivés du tissu cellulaire, renfer- des principes azotés identiques ou au moins très analogues, puisque l'eau ante les modifie toujours de la même manière. — Dans les *os*, on a décrit la re azotée de laquelle provient la gélatine, et on l'a appelée *osséine*. Dans les branes, la matière azotée, engendrant la gélatine, n'est pas encore connue, lus que dans les tissus fibreux. On sait d'ailleurs que la gélatine, traitée par e sulfurique et une longue ébullition, donne du *sucre de gélatine* ou *gly-'e* ($C^4H^5AzO^4$), que peuvent aussi engendrer (quand on les soumet à l'action cide chlorhydrique) l'acide cholique, un des principes immédiats de la bile, cide hippurique, une des matières composantes de l'urine des herbivores. s cendres des *os* sont abondantes et formées surtout de substances calcaires. ouve en général, dans les os, deux tiers de leur poids de matière inorga- ainsi composée, d'après MARCHAND :

Phosphate de chaux	52,26
— de magnésie	1,05
Carbonate de chaux	10,21
Fluorure de calcium	1,00
Soude	0,92
Chlorure de sodium	0,25
Oxydes de fer, de manganèse	1,05
Matière organique ou vivante	33,26
	100,00

s *cartilages* ne contiennent que 3 à 6 pour 100 de substances minérales : hates de chaux et de magnésie, carbonates alcalins, chlorures de sodium lfates.

nme complément de cet exposé succinct de la constitution chimique des élémentaires des animaux, il reste seulement à mentionner quelques autres s organisées, comme l'*épiderme*, l'*épithélium*, les *poils*, les *plumes* et la *re cornée*. La composition élémentaire est la même pour chacune de ces s; elle est surtout remarquable par une grande proportion d'azote :

	Ongles d'homme.	Corne de vache.	Cheveux et poils.	Plumes.
Carbone.....	51,09	50,94	50,0	52,42
Hydrogène....	6,82	6,65	6,4	7,21
Azote.....	16,91	16,28	17,0	17,89
Oxygène.... } Soufre..... }	25,18	26,13	26,6	22,48
	100,00	100,00	100,0	100,00 (1).

Dans leurs cendres, se rencontrent des oxydes de fer et de manganèse, du phosphate et du carbonate de chaux, et une assez forte proportion de silice qui paraît indispensable à la constitution de la matière des poils, des plumes et de la corne.

Le *tissu élastique*, que l'on observe dans les ligaments jaunes des arcs postérieurs des vertèbres, dans le ligament cervical postérieur, dans la tunique moyenne des artères, etc., ne donne pas de gélatine, comme le tissu fibreux ordinaire, par l'ébullition prolongée dans l'eau. Sa nature chimique est encore peu connue.

Outre la substance même de leurs tissus propres, on trouve dans les organes différents matériaux, dont les uns s'y déposent à l'état solide, et dont les autres les imprègnent sous la forme liquide. Ce sont principalement des *matières grasses*, quelques *substances hydrocarbonées*, ou bien des *matières colorantes*.

La *graisse* des animaux, produit non azoté, est renfermée dans de petites vésicules particulières formant le *tissu adipeux* (*) qui est distinct du tissu cellulaire. Elle est regardée comme constituée par de la *glycérine* ($C^6H^8O^6$) unie à des acides gras fixes (acides oléique, margarique, stéarique, etc.). Quant à sa composition élémentaire, la graisse animale renferme toujours du carbone, de l'oxygène, et de l'hydrogène en excès sur les proportions nécessaires pour former de l'eau.

Composition élémentaire de quelques graisses animales, d'après CHEVREUL.

	Graisse humaine.	Graisse de porc.	Graisse de mouton.
Carbone.....	79,00	79,03	78,99
Hydrogène.....	11,42	11,42	11,70
Oxygène.....	9,58	9,55	9,31
	100,00	100,00	100,00

La *production de la graisse* est un des phénomènes les plus importants de la nutrition, et il nous faudra bientôt en étudier les conditions. Pour l'instant, nous avons voulu seulement rappeler la composition élémentaire et la nature chimique de la graisse, pour être à même de rechercher plus tard l'origine de ce principe parmi les matériaux nutritifs.

Quant aux *matières hydrocarbonées*, le *sucre*, en particulier, sera étudié plus loin, et d'une manière toute spéciale, au point de vue de la constitution de certains tissus et de son rôle dans l'économie. — Nous avons déjà parlé de l'*inosite*, matière sucrée dont les muscles sont imbibés, et qui n'a encore été rencontrée que dans la chair musculaire des animaux supérieurs. — Dans l'enveloppe tégumentaire de certains mollusques tuniciers, etc., on a signalé la présence d'une sub-

(1) MALAGUTI, *ouvr. cit.*, t. II, 2e édit., p. 733 et 735.

(*) De *adeps*, graisse.

stance (*cellulose*) dont la composition et les propriétés semblent identiques avec celles de la cellulose végétale.

Il y a là, sous le rapport de la présence de ces différentes matières hydrocarbonées dans les tissus des animaux, un problème physiologique curieux qui a été beaucoup étudié dans ces derniers temps, et dont la solution semble aujourd'hui assez précise. Nous y reviendrons plus loin.

« Les *matières colorantes* qui entrent dans la composition des liquides et des tissus, chez les animaux, sont à peu près inconnues sous le rapport chimique. » Tel est l'aveu que fait Lehmann (1) en commençant leur étude, et nous verrons qu'en effet il sera difficile de tenir, quant à présent, un grand compte de ces matières dans les actes de la nutrition.

Une des matières colorantes les plus dignes d'attention est l'*hématosine*, qu'on sait exister dans le sang; la *matière colorante de la bile* a été étudiée plus haut, à propos de ce fluide, mais on ne sait presque rien sur sa véritable nature; la *mélanine*, ou pigment noir qui existe à la face interne de la choroïde et dans divers points de l'organisme de certains animaux, qui paraît colorer la peau des nègres, etc., est à peu près dans le même cas; enfin nous en dirons autant des matières colorantes de l'urine. — Mais un fait qui paraît commun à toutes ces substances, c'est la présence du *fer* parmi leurs éléments; peut-être cela tient-il à ce qu'elles sont toutes des transformations de l'*hématosine*, substance azotée qui contient une quantité notable de ce métal, ainsi que nous l'a appris l'étude de la composition chimique du sang (*).

Notre ignorance au sujet des matières colorantes est un fait regrettable, mais qui néanmoins ne laissera pas, dans l'histoire de la nutrition, une lacune trop sensible, attendu que la proportion de ces matières, dans les tissus, est relativement très faible, et qu'ainsi elles ne peuvent prélever qu'une part bien restreinte des matériaux nutritifs.

Ainsi, l'assimilation produit, chez les animaux, un ensemble de parties solides toutes constituées par de la *matière azotée*, sous divers états : cette constitution commune aux tissus de l'organisme animal a une grande importance au point de vue de la mise en œuvre de certains matériaux de la nutrition. Le substratum, de nature azotée, qui forme la base des différents tissus, renferme en outre des *substances organiques non azotées*, parmi lesquelles figurent surtout des graisses de diverses natures et des matières hydrocarbonées.

Tel est le résultat sommaire et définitif de l'assimilation et de la combustion nutritive; tels sont les faits que doit chercher à interpréter la théorie qu'il nous faudra bientôt exposer. Cette *théorie* devra tendre à rétablir, aussi exactement que possible, la chaîne des phénomènes que l'observation directe ne peut complétement saisir. Nous avons d'abord constaté les conditions de l'introduction de matériaux variés dans l'économie à l'aide des diverses surfaces absorbantes; nous avons signalé ensuite la sortie d'un certain nombre de substances excrétées par plusieurs voies éliminatoires; nous avons constaté enfin la fixation d'autres éléments assimilés par le corps vivant. Comme toute matière introduite par l'absorption a dû être ou fixée ou éliminée, nous avons donc eu, en définitive,

(1) *Précis de chim. physiol. anim.*, trad. de Ch. Drion, p. 75.

(*) Voir ci-dessus, p. 485.

à passer en revue et les matériaux mis en œuvre et les produits qui en résultent. Mais quels phénomènes intermédiaires se sont accomplis et comment les produits définitifs reconnus ont pu dériver des matériaux employés, telle est la question qu'il faut aborder maintenant, et qui ne saurait être résolue qu'à l'aide d'une théorie satisfaisante des actes intimes de la nutrition.

§ III. — Des actes intimes de la nutrition.

En commençant l'étude générale de la nutrition, nous avons établi qu'il y avait lieu de distinguer l'*assimilation*, qui accroît ou entretient l'organisme, de la *combustion nutritive* qui, oxydant certains principes alimentaires avec l'oxygène atmosphérique, produit de la chaleur, de l'électricité, et constitue aussi une condition indispensable des manifestations des forces physiologiques ou de l'activité des organes. Il est évident que les différentes matières éliminées du corps (hormis les fèces) proviennent surtout de cette combustion nutritive, à tel point même qu'on pourrait être tenté de les lui rapporter exclusivement. Si l'on considère, en effet, un animal qui, tout en prenant des aliments selon ses besoins, ne varie pas de poids pendant un temps suffisamment prolongé, on est porté à croire que tous les matériaux venus du dehors s'échappent par les excrétions, et cela d'autant mieux que ces excrétions sont de nature à rendre probable une telle explication. Ce sont d'autres considérations qui amènent à concevoir que l'assimilation, ou production de matière vivante nouvelle, ne saurait s'annuler complétement chez un animal adulte soumis à la ration d'entretien ; que les organes ne peuvent fonctionner sans s'altérer, et que les altérations matérielles ou les déperditions qu'ils subissent doivent, d'une part, être réparées aux dépens de l'alimentation, et d'autre part, fournir aussi une portion des matériaux excrétés.

C'est dans les immortels écrits de Lavoisier que se trouvent les principes de toute théorie rationnelle de la nutrition.

Cinquante ans après la mort de ce grand homme, en terminant une leçon sur la *statique chimique des êtres organisés*, Dumas lui rendait cet hommage en proclamant qu'à son sens, toutes les opinions que lui-même venait d'émettre « n'étaient que les conséquences et les développements nécessaires de la grande voie que Lavoisier a tracée à la chimie moderne (1). »

Qu'il nous soit donc permis d'emprunter tout d'abord à Lavoisier des citations qui, en justifiant l'assertion précédente, feront comprendre tout ce que renfermait, pour l'avenir des sciences, ce génie si fatalement sacrifié. L'importance de ces citations, la hauteur de vue et la noble simplicité de style qu'on y trouve, nous excuseront de les avoir rapportées presque entières. D'ailleurs, ne sont-elles pas l'introduction la plus lumineuse aux études de la physiologie moderne sur les *actes intimes de la nutrition* et sur les conditions normales de leur accomplissement ?

Voici comment Lavoisier terminait, en 1789, son mémoire sur la respiration des animaux (2) : « Tant que nous n'avons considéré dans la respiration que la seule consommation de l'air, le sort du riche et celui du pauvre était le même;

(1) Dumas et Boussingault, *Essai de statique chimique des êtres organisés*, 2e édit. Paris, 1842, p. 47.
(2) *Mém. de l'Acad. des sciences de Paris*, 1789, p. 578.

ar l'air appartient également à tous et ne coûte rien à personne. L'homme de eine, qui travaille davantage, jouit même plus complétement de ce bienfait de nature. Mais, maintenant que l'expérience nous apprend que la respiration est ne véritable combustion qui consume à chaque instant une portion de la substance ème de l'individu ; que cette consommation est d'autant plus grande que la cirlation et la respiration sont plus accélérées, qu'elle augmente à proportion que individu mène une vie plus laborieuse et plus active, une foule de considérations orales naissent comme d'elles-mêmes de ces résultats de la physique... »

Ici Lavoisier, se reportant aux idées qui fermentaient alors autour de lui, met opposition l'abondance inutile dont jouit l'homme riche inactif, avec les besoins ns étendus et les ressources trop restreintes du pauvre qui travaille ; il accueille ec bonheur l'espoir d'institutions sociales plus équitables que la philosophie et umanité semblent promettre à l'avenir, tout en émettant le vœu, singulièrement uchant dans sa bouche, que l'exagération, l'enthousiasme irréfléchi des masses l'entraînement des passions humaines ne détruisent pas l'espérance de la patrie. is il continue en ces termes :

« L'ordre physique, assujetti à des lois immuables, arrivé dès longtemps à un état équilibre que rien ne peut déranger, n'est point sujet à ces mouvements tumulueux que présente quelquefois l'ordre moral. C'est une chose vraiment admirable e ce résultat de forces continuellement variables et continuellement en équilibre, i s'observent à chaque pas dans l'économie animale, et qui permettent à l'indidu de se prêter à toutes les circonstances où le hasard le place. — L'homme, à r égard, a été plus favorisé par la nature qu'aucun des autres animaux : il vit égament dans toutes les températures et dans tous les climats ; son tempérament se ête au mouvement et au repos, à l'abstinence comme aux excès de nourriture ; esque tous les aliments lui sont bons, soit qu'ils soient succulents, soit qu'ils ne soient pas ; soit qu'ils appartiennent à un régime organique ou à un autre.

» Se trouve-t-il dans un climat froid ? D'un côté, l'air étant plus dense, il s'en ecompose une plus grande quantité dans le poumon ; plus de calorique se dégage va réparer la perte qu'occasionne le refroidissement extérieur. D'un autre côté, transpiration diminue, il se fait moins d'évaporation, donc moins de refroidisseent. — Le même individu passe-t-il dans une température beaucoup plus chaude ? air est plus raréfié, il ne s'en décompose plus une aussi grande quantité ; moins calorique se dégage dans le poumon ; une transpiration abondante qui s'établit lève tout l'excédant du calorique que fournit la respiration : et c'est ainsi que tablit cette température à peu près constante de 32 degrés (thermomètre de aumur), que plusieurs quadrupèdes et que l'homme particulièrement conserent dans quelque circonstance qu'ils se trouvent.

» Il existe de semblables compensations qui permettent à l'homme de passer ccessivement, suivant ses besoins et sa volonté, d'une vie active à une vie tranille. Se tient-il dans un état d'inaction et de repos ? La circulation est lente ainsi e la respiration ; il consomme moins d'air, il exhale par le poumon moins de rbone et d'hydrogène, et conséquemment il a besoin de moins de nourriture. t-il obligé de se livrer à des travaux pénibles ? La respiration s'accélère ; il conme plus d'air ; il perd plus d'hydrogène et de carbone, et conséquemment il besoin de réparer plus souvent et davantage par la *nutrition*.

» En rapprochant ces réflexions des résultats qui les ont précédées, on voit que machine animale est gouvernée par trois régulateurs principaux : la *respiration*,

qui consomme de l'hydrogène et du carbone et qui fournit du calorique; la *transpiration*, qui augmente ou diminue suivant qu'il est nécessaire d'emporter plus ou moins de calorique; enfin, la *digestion*, qui rend au sang ce qu'il perd par la respiration et la transpiration. — L'intensité de l'action de ces trois agents peut varier dans des limites assez étendues; mais il est des bornes au delà desquelles les compensations ne peuvent plus avoir lieu, et c'est alors que commence l'état de maladie... Dans la course, dans la danse, dans tous les exercices violents, quelque accélération qu'éprouvent la respiration et la circulation, quelque accroissement que prenne la consommation d'air, de carbone et d'hydrogène l'équilibre de l'économie animale n'est pas troublé, tant que les aliments, plus ou moins digérés, qui sont presque toujours en réserve dans l'étendue du canal intestinal, fournissent aux pertes: mais si *la dépense* qui se fait par le poumon est supérieure à *la recette* qui se fait par la nutrition, le sang se dépouille de plus en plus d'hydrogène et de carbone; et telle est la cause, sans doute, d'un grand nombre de maladies. Dans ces cas, l'animal est averti du danger qu'il court, par la lassitude, par l'épuisement et par la perte de ses forces; il sent le besoin de rétablir l'équilibre dans l'économie par la nourriture et par le repos.....

» L'effet contraire doit arriver, soit par le défaut absolu de tout mouvement et de tout exercice, soit par l'usage de certains aliments, soit enfin par un vice des organes de la nutrition ou de ceux de la respiration. La digestion, dans ces différents cas, introduisant dans le sang plus de substance que la respiration n'en peut consommer, il doit s'établir dans la masse du sang un excès de carbone ou un excès d'hydrogène, ou de l'un et de l'autre à la fois. La nature lutte alors contre cette altération des humeurs; elle presse la circulation par la fièvre; elle s'efforce de réparer, par une respiration accélérée, le désordre qui trouble sa marche; souvent elle y parvient, sans aucun secours étranger, et alors l'animal recouvre la santé. Dans le cas contraire, il succombe, à moins que la nature ne trouve d'autres moyens de rétablir l'équilibre..... On conçoit, d'après ces simples aperçus, comment l'art du médecin consiste souvent à laisser la nature aux prises avec elle-même; comment, par la diète seule, il est possible de changer la qualité du sang: en effet, alors la respiration consommant toujours, et la digestion ne fournissant plus, le sang doit alors se dépouiller de plus en plus de carbone et d'hydrogène. On conçoit encore comment une diète trop austère et trop longtemps continuée pourrait changer, à la longue, la nature de la maladie..... Enfin on conçoit comment les altérations survenues à l'air qui nous environne, peuvent être la cause des maladies endémiques, des fièvres d'hôpitaux et de prisons; comment le grand air, une respiration plus libre, un changement de genre de vie, sont souvent, pour ces dernières maladies, le remède le plus efficace. »

Pour faire mieux connaître toute l'étendue des vues de Lavoisier, dès cette époque, touchant les phénomènes qui nous occupent, nous croyons encore devoir reproduire quelques passages d'un programme de prix proposé par l'Académie des sciences pour l'année 1794. Ce programme, publié en 1789, n'a évidemment pu être rédigé que par Lavoisier lui-même, et il semble que, depuis lors, les physiologistes et les chimistes se soient donné pour mission d'y répondre.

« Les végétaux, y est-il dit (1), puisent dans l'air qui les environne, dans

(1) *Mém. de l'Acad. des sciences de Paris*, 1789, p. 24.

eau et en général dans le règne minéral, les matériaux nécessaires à leur organisation. — Les animaux se nourrissent ou de végétaux ou d'autres animaux, qui ont été eux-mêmes nourris de végétaux; en sorte que les matériaux dont les animaux sont formés, sont toujours, en dernier résultat, tirés de l'air ou du règne minéral. — Enfin, la *fermentation*, la *putréfaction* et la *combustion* rendent continuellement à l'air de l'atmosphère et au règne minéral les principes que les végétaux et les animaux en ont empruntés.

» Par quels procédés la nature opère-t-elle cette circulation entre les trois règnes?

» Comment parvient-elle à former des substances fermentescibles, combustibles et putrescibles avec des matériaux qui n'avaient aucune de ces propriétés?.....

» C'est dans toute l'étendue du canal intestinal que s'opère le premier degré de l'animalisation, ou la conversion des matières végétales en matières animales. Les aliments reçoivent une première altération dans la bouche, par le mélange avec la salive; ils en reçoivent une seconde dans l'estomac par leur mélange avec le suc gastrique; ils en reçoivent une troisième par le mélange avec la bile et le suc pancréatique. Convertis ensuite en chyle, une partie passe dans le sang pour réparer les pertes qui s'opèrent continuellement par la respiration et la transpiration; enfin la nature rejette, sous la forme d'excrétions, tous les matériaux dont elle n'a pu faire emploi. — Une circonstance remarquable, c'est que les animaux qui sont dans l'état de santé, et qui ont pris toute leur croissance, reviennent constamment, chaque jour, au même point qu'ils avaient la veille, dans des circonstances semblables; en sorte qu'une somme de matière égale à ce qui est reçu dans le canal intestinal se consume et se dépense, soit par la transpiration, soit par la respiration, soit enfin par les différentes excrétions.....

» Il est facile de prévoir, ajoute l'auteur de ce programme, qu'avec la sécrétion de la bile, le foie remplit un système de fonctions dont la science n'a point encore embrassé l'ensemble..... L'Académie, en proposant notamment ce sujet, espère qu'un pareil travail obligera ceux qui s'y livreront à déterminer la nature du sang de la veine porte, à la comparer à celle du sang artériel et veineux des autres régions, à suivre cette importante comparaison dans le fœtus qui n'a point et qui n'a que peu respiré, dans les animaux à sang froid, etc. »

Qui pourrait nous reprocher la longueur des citations qui précèdent? Ces pages, écrites en 1789, ont-elles vieilli d'une heure? Ne sont-elles pas encore le résumé le plus lumineux des connaissances acquises sur les actes nutritifs après soixante et dix années, et sauf la sécrétion urinaire, qui paraît n'avoir pas fixé suffisamment l'attention de Lavoisier, peut-être parce que sa nature chimique était imparfaitement connue à cette époque, quel autre point important du problème de la nutrition des animaux ce grand observateur a-t-il omis d'entrevoir ou de signaler? Berzelius, Boussingault, Dumas, Liebig, Lehmann, etc., ont surtout contribué à remplir glorieusement le précédent programme, et par là répondu à l'appel que le génie adressait à l'avenir.

I. — Le premier problème qui se présente, dans l'étude des actes intimes de la nutrition, est relatif à l'*emploi des aliments*, ou du moins de la portion de ces aliments qui est introduite dans l'organisme par l'absorption.

Ayant déjà signalé (p. 1016) les premiers changements que doivent subir les divers aliments d'origine organique, pour devenir absorbables et miscibles au sang, il nous reste à faire connaître la destination physiologique et les métamorphoses ultérieures de ces aliments, métamorphoses et destination d'ailleurs si différentes suivant la nature des éléments qu'ils sont appelés à introduire dans l'économie.

En traçant l'histoire de la digestion, nous avons rappelé que, les aliments minéraux étant mis un moment de côté, les aliments organiques peuvent être rapportés à deux groupes : d'une part, les matières albuminoïdes, qui représentent à elles seules les *aliments azotés;* d'autre part, les matières grasses et les matières féculentes ou sucrées qui constituent le groupe des *aliments non azotés.* — Examinons actuellement quel rôle spécial remplit chacun de ces groupes, dans le travail intime de la nutrition.

Tous les tissus de l'économie animale sont essentiellement formés par des matières organiques composées de carbone, d'hydrogène, d'oxygène et d'azote; les principes constitutifs du sang, fluide dans lequel ces tissus puisent leurs matériaux de développement ou d'entretien, sont également des matières azotées. Liebig (1) a donc pu, avec raison, poser en principe « que, toute matière *sanguifiable* et *assimilable* aux organes des animaux doit renfermer de l'*azote*, et ne saurait provenir de substances alimentaires grasses, saccharines ou amyloïdes. » Ces dernières, caractérisées par l'absence de l'azote, paraissent ne pouvoir être utilisées que dans la combustion respiratoire. Aussi Liebig, au point de vue de leur emploi dans la nutrition, a-t-il proposé de partager les aliments : 1° en *aliments plastiques*, comprenant la fibrine, l'albumine, la caséine et les autres principes immédiats azotés de provenance animale ou végétale; 2° en *aliments respiratoires*, comprenant les graisses, l'amidon, les sucres, la pectine, la bassorine, la bière, le vin, les liqueurs alcooliques, etc.

Destinés surtout à la réparation ou au développement des organes de l'économie, les *aliments* dits *plastiques* se combinent aussi, plus ou moins lentement, avec l'*oxygène* atmosphérique pour donner naissance à une certaine quantité d'eau, d'acide carbonique, d'acide urique, d'urée, etc.; mais, tout en s'oxydant en plus ou moins grande proportion, ils ne doivent pas disparaître promptement par la combustion, et sont réputés ne concourir, dans les circonstances ordinaires, que pour une assez faible part à l'entretien des actes chimiques de la respiration et à la production de la chaleur animale. Il n'en est plus de même des *aliments* appelés *respiratoires*, qui, au contraire, afin de prendre la plus grande part à la respiration et à la calorification, s'unissent rapidement à l'oxygène, et se consument en donnant naissance à de l'eau, à de l'acide carbonique et à un important dégagement de chaleur. — L'excès de ces derniers aliments, qui échappe à la combustion, est excrété avec les fèces, parfois avec les urines, ou bien, après transformation, il est utilisé, ne fût-ce qu'à titre de dépôt (graisse), par l'organisme animal.

Il ne faudrait pas néanmoins accorder une valeur trop absolue à cette distinction entre les *aliments plastiques* et les *aliments respiratoires;* elle n'est fondée que d'une manière générale. En effet, l'animal, longtemps privé d'une nourriture suffisante, continue à absorber de l'oxygène, et diminue de poids parce qu'il brûle

(1) *Lettres sur la chimie*, p. 228, trad. franç.

sivement d'abord ses graisses, puis son sang et ses propres tissus; de telle que même des substances azotées qui avaient fait partie de sa trame orga- fournissent des matériaux à l'oxygène de la respiration, et accidentellement nent aliments respiratoires. Au contraire, chez un animal adulte ayant sa croissance, et qui néanmoins augmente de poids, c'est-à-dire qui isse, une certaine quantité des aliments dits *respiratoires* se dépose, nous de le voir, à l'état de graisse, dans la plupart des tissus. — La raison de ts paraît simple : si une matière non azotée ne peut constituer les tissus des organes et ne saurait qu'être employée à la combustion respiratoire e en dépôt pour y subvenir plus tard, une matière azotée peut, au con- en vertu même de sa composition, être en partie brûlée et en partie assi- ux tissus. On se rendra surtout nettement compte de ces faits si l'on envi- la manière de Liebig, la nutrition chez un carnivore. Supposons, dit-il, un qui se nourrisse exclusivement de la substance d'autres animaux : l'aliment ngère s'éloigne aussi peu que possible de sa propre substance, car ce sont le la chair et du sang. Dans ce régime alimentaire, tout est sanguifiable, si excepte les ongles, les poils, les os. Au bout d'un certain temps, c'est- après l'entier accomplissement de la digestion, le carnivore a repris son rimitif, de telle sorte qu'à ce moment il a perdu, par ses diverses excrétions, qu'il avait acquis d'abord par l'alimentation. Or, parmi ces excrétions, t l'acide carbonique et l'eau exhalés par les surfaces respiratoires ; la com- respiratoire a donc eu lieu, et elle n'a *guère* pu employer que des matières , puisque la substance même de l'animal et ses aliments en sont presque vement formés. La quantité d'azote sortie par les voies aériennes est trop our la quantité de matière azotée que supposent le carbone et l'hydrogène més ; mais les fèces et surtout les urines renferment une telle proportion , qu'évidemment cet élément chimique est spécialement rejeté par ces ons. Il semble donc très probable qu'en pareil cas les matières azotées ne nt pas, de toutes pièces, s'offrir à l'oxygène atmosphérique introduit par e respiratoire, mais qu'elles sont préalablement dédoublées en une matière le qui se consume dans la respiration, et en une matière spécialement azotée va par l'excrétion urinaire. — Mais, si l'alimentation exclusivement ani- ut bien suffire aux besoins d'un carnassier adulte, elle paraît incapable de e aux besoins plus étendus d'un jeune animal de cette espèce qui se déve- Dans ce dernier, en effet, la combustion nutritive ne saurait employer à le les aliments azotés qui prédominent dans ce régime, il faut qu'une partie de ces mêmes aliments soit réservée pour l'assimilation et prenne place s tissus eux-mêmes. Aussi voit-on les jeunes carnivores, durant leur pre- e, puiser dans la mamelle de leur mère un liquide, le *lait*, qui, comme celui ivores, contient, à côté de la matière azotée, du *sucre de lait* et du *beurre*, iments respiratoires par excellence. Grâce à ces derniers principes, l'assi- peut s'approprier à peu près en totalité la matière azotée qui seule est au développement des organes.

ns observer néanmoins, en terminant cet aperçu touchant le régime du re, qu'en supposant un tel animal ne vivant que de chair musculaire ou le sang, une pareille alimentation ne saurait encore être regardée comme ement azotée : n'avons-nous pas vu précédemment que la plupart des tissus renferment des *matières grasses*, et qu'en outre des *matières amyloïdes*

ou leurs dérivés (dextrine, inosite, etc.) se trouvent dans les liquides qui pénètrent la substance musculaire chez les animaux supérieurs ?

L'*animal herbivore* (et par ce mot nous entendons désigner tout animal pendant qu'il se nourrit de substance végétale) présente une nutrition qui, de prime abord, peut paraître moins simple dans ses procédés : avec de la matière végétale il fait de la matière animale; aussi serait-on porté à regarder en effet l'assimilation comme beaucoup plus difficile chez lui que chez le carnivore, si la chimie n'avait démontré que l'albumine, la fibrine, la caséine végétales ont la même composition et les mêmes propriétés que l'albumine, la fibrine et la caséine animales. La véritable différence importante est dans la faible proportion de matières azotées que renferment, sous un volume donné, les aliments des herbivores, relativement à la quantité de matières grasses et surtout de matières hydrocarbonées. Évidemment ici les aliments respiratoires sont en telle abondance, que les aliments plastiques doivent, dans les circonstances habituelles ou normales, ne prendre, pour ainsi dire, part qu'à l'assimilation qui développe ou entretient les tissus.

Rappelons, en passant, que le carnassier, qui se nourrit d'espèces herbivores qu'il recherche de préférence comme une proie plus facile et d'ailleurs plus abondante, représente, dans un poids donné de sa chair, la portion assimilée d'un poids plus considérable de chair d'herbivore, puisqu'une portion de celle-ci a été brûlée dans la respiration de l'animal carnassier lui-même; ajoutons que ce poids de chair d'herbivore, à son tour, n'est que la portion assimilée d'une masse plus pesante encore de matière végétale dont l'autre portion a été brûlée par l'herbivore. On est ainsi amené à conclure que la chair du carnassier est celle qui coûte le plus à produire. Cette simple remarque nous révèle, à travers les mystères de la nutrition des animaux, une des causes principales de la rareté des espèces carnivores comparativement aux espèces herbivores d'une même contrée. Mais les herbivores ne sont pas seulement plus nombreux que les carnassiers, ils ont encore, surtout parmi les mammifères, une taille généralement beaucoup plus élevée, la masse de leur corps est plus considérable, leur aptitude à l'engraissement beaucoup plus grande. Et il fallait bien qu'il en fût ainsi : car si le règne végétal constitue le magasin alimentaire dans lequel puisent incessamment les herbivores, ceux-ci, à leur tour, sont les dépositaires de la substance animalisée ou de l'aliment propre aux carnivores. Du reste, nous le savons déjà, plantes, animaux herbivores ou carnassiers, sont formés de matériaux tirés, en dernier résultat, du sol et de l'atmosphère, grands réservoirs et milieux intarissables d'où tout provient, où tout retourne.

Après ces vues d'ensemble sur la destination physiologique des *aliments azotés*, il faudrait pouvoir déterminer la série des transformations successives que doivent subir les principes réparateurs qui y sont contenus (albumine, fibrine, caséine, etc.) pour passer à l'état de matière nutritive ou *assimilable*. Malheureusement la science ne possède à ce sujet que des données insuffisantes et encore bien incertaines; elle n'est guère plus avancée que dans cet autre problème qui consiste à rechercher comment chaque partie organique peut *choisir*, dans les matériaux de nutrition, ce qui convient à sa nature et à sa destination particulières, pour se l'assimiler : ce dernier acte reste encore, en grande partie, le secret de la vie.

Quand on considère que, pendant l'incubation de l'œuf, l'*albumine* paraît se

transformer en fibrine et donner naissance, avec le concours de l'oxygène atmosphérique, à toutes les substances azotées de l'organisation animale rudimentaire, et qu'après cette époque l'albumine semble être encore comme la source et la base de toute la série de tissus particuliers qui sont le siége des activités organiques, il ne faut pas trop s'étonner qu'aux yeux d'un certain nombre d'observateurs, la digestion ait paru avoir pour essence de réduire tout en albumine, de transformer en ce principe tous les aliments, y compris ceux qui n'en contiennent pas la moindre trace avant de subir l'influence digestive. Nous avons dit ailleurs (*), à propos de l'examen de cette opinion, où est l'exagération, où est l'erreur. — Toujours est-il que, dans l'œuf des ovipares, la *fibrine* procède évidemment de l'albumine, alors seule existante, et qu'elle ne paraît être qu'un premier degré d'oxydation de cette dernière. La tendance naturelle de la fibrine à la coagulation ou à la formation solide a sans doute déterminé beaucoup de physiologistes à regarder ce principe azoté comme jouant, à son tour, le principal rôle dans les phénomènes de développement et de rénovation des tissus, où, par un mouvement qui ne s'interrompt qu'à la mort, on voit les fluides se solidifier et les solides se fluidifier sans cesse.

Nous venons de dire que, pendant l'incubation de l'œuf, l'albumine, qui existe seule dans l'origine, paraît se transformer en fibrine avec le concours de l'oxygène atmosphérique, et donner naissance à toutes les parties azotées de l'organisme. Mais il importe aussi de faire observer que, à une certaine époque de l'existence des jeunes mammifères, pareil rôle (celui de fournir à leurs tissus les éléments nécessaires pour s'accroître) semble revenir surtout à la *caséine*, qui, par sa nature azotée, serait ainsi appelée à remplir, dans la nutrition, une mission considérable et parallèle à celle de l'albumine. Mais la caséine elle-même, sauf une proportion moindre de soufre, renferme les mêmes éléments que l'albumine ou la fibrine, et à peu près dans les mêmes proportions. Aussi, très probablement la caséine tire-t-elle ses matériaux de formation de l'albumine du sang, sans qu'on puisse positivement décider si elle se forme seulement dans les glandes mammaires, ou si elle prend naissance déjà dans le sang lui-même : rappelons d'ailleurs qu'il suffit d'ajouter un peu d'alcali libre à l'albumine pour lui faire acquérir les caractères de la caséine. Réciproquement, ce principe azoté du lait, qui en représente l'élément nutritif principal, devra, à son tour, fournir au jeune animal les parties essentielles de son sang, et constituer nécessairement la matière première aux dépens de laquelle vont se développer ses divers organes ; car ni le beurre, ni le sucre de lait ne renferment d'azote (**), et l'on sait qu'il est généralement reconnu que l'azote de l'atmosphère ne trouve pas d'emploi dans le développement organique des animaux.

Le substratum des différents tissus animaux paraît procéder en définitive de l'albumine : l'identité presque parfaite de la composition de ce principe avec celle de la fibrine et de la caséine, identité sur laquelle Liebig a particulièrement insisté, explique comment, dans l'économie, ces substances peuvent et doivent passer, avec la plus grande facilité, de l'une à l'autre, et conséquemment, après des

(*) Voir ci-dessus le chapitre DIGESTION.

(**) D'après LEHMANN, on ne rencontrerait l'*albumine* dans le lait qu'à la suite des affections inflammatoires des glandes mammaires. — Toutefois, comme l'ont surtout démontré les recherches de DOVÈRE, elle existe, en *faible proportion*, comme principe normal de ce liquide.

à passer en revue et les matériaux mis en œuvre et les produits qui en résultent. Mais quels phénomènes intermédiaires se sont accomplis et comment les produits définitifs reconnus ont pu dériver des matériaux employés, telle est la question qu'il faut aborder maintenant, et qui ne saurait être résolue qu'à l'aide d'une théorie satisfaisante des actes intimes de la nutrition.

§ III. — Des actes intimes de la nutrition.

En commençant l'étude générale de la nutrition, nous avons établi qu'il y avait lieu de distinguer l'*assimilation*, qui accroît ou entretient l'organisme, de la *combustion nutritive* qui, oxydant certains principes alimentaires avec l'oxygène atmosphérique, produit de la chaleur, de l'électricité, et constitue aussi une condition indispensable des manifestations des forces physiologiques ou de l'activité des organes. Il est évident que les différentes matières éliminées du corps (hormis les fèces) proviennent surtout de cette combustion nutritive, à tel point même qu'on pourrait être tenté de les lui rapporter exclusivement. Si l'on considère, en effet, un animal qui, tout en prenant des aliments selon ses besoins, ne varie pas de poids pendant un temps suffisamment prolongé, on est porté à croire que tous les matériaux venus du dehors s'échappent par les excrétions, et cela d'autant mieux que ces excrétions sont de nature à rendre probable une telle explication. Ce sont d'autres considérations qui amènent à concevoir que l'assimilation, ou production de matière vivante nouvelle, ne saurait s'annuler complétement chez un animal adulte soumis à la ration d'entretien ; que les organes ne peuvent fonctionner sans s'altérer, et que les altérations matérielles ou les déperditions qu'ils subissent doivent, d'une part, être réparées aux dépens de l'alimentation, et d'autre part, fournir aussi une portion des matériaux excrétés.

C'est dans les immortels écrits de Lavoisier que se trouvent les principes de toute théorie rationnelle de la nutrition.

Cinquante ans après la mort de ce grand homme, en terminant une leçon sur la *statique chimique des êtres organisés*, Dumas lui rendait cet hommage en proclamant qu'à son sens, toutes les opinions que lui-même venait d'émettre « n'étaient que les conséquences et les développements nécessaires de la grande voie que Lavoisier a tracée à la chimie moderne (1). »

Qu'il nous soit donc permis d'emprunter tout d'abord à Lavoisier des citations qui, en justifiant l'assertion précédente, feront comprendre tout ce que renfermait, pour l'avenir des sciences, ce génie si fatalement sacrifié. L'importance de ces citations, la hauteur de vue et la noble simplicité de style qu'on y trouve, nous excuseront de les avoir rapportées presque entières. D'ailleurs, ne sont-elles pas l'introduction la plus lumineuse aux études de la physiologie moderne sur les *actes intimes de la nutrition* et sur les conditions normales de leur accomplissement ?

Voici comment Lavoisier terminait, en 1789, son mémoire sur la respiration des animaux (2) : « Tant que nous n'avons considéré dans la respiration que la seule consommation de l'air, le sort du riche et celui du pauvre était le même;

(1) Dumas et Boussingault, *Essai de statique chimique des êtres organisés*, 2e édit. Paris, 1842, p. 47.
(2) *Mém. de l'Acad. des sciences de Paris*, 1789, p. 578.

comme nous le prouverons tout à l'heure, il est manifeste que plusieurs tissus empruntent à l'alimentation une certaine quantité de matière amyloïde qu'ils gardent en eux, sans la transformer au moins immédiatement (*zoamyline*). Mais, sauf la petite quantité qu'en peut réclamer la constitution de ces tissus, les principes hydrocarbonés sont destinés principalement à être brûlés par l'oxygène atmosphérique et à dégager de la chaleur, pour s'échapper ensuite sous la forme d'acide carbonique et d'eau. Toutefois, rappelons encore que, si l'alimentation renferme un excès de matières amyloïdes ou sucrées, cet excès pourra être converti en graisse qui se déposera dans les tissus ; que si, au contraire, ces combustibles par excellence font défaut ou sont en trop faible proportion, la graisse formée sera reprise çà et là dans l'économie pour se consumer à leur place ; et qu'enfin, si cette réserve elle-même devient insuffisante, les matières azotées pourront prendre, à leur tour, le rôle des précédentes substances.

Quoi qu'il en soit, le dernier terme de la combustion des matières grasses ou des matières sucrées, nous le répétons, est représenté par de l'acide carbonique et de l'eau qui sont éliminés spécialement par les reins, la peau et les poumons. Ces produits ultimes proviennent du foyer où s'engendre la chaleur indispensable au jeu des organes comme aux transmutations qui s'accomplissent dans le corps des animaux. En exposant la théorie de la respiration, nous avons dit que le lieu où s'effectue la combustion respiratoire ne saurait être précisé : les combustibles sont dans le sang, l'oxygène s'y trouve également ; l'oxydation ou combustion lente a sans doute lieu dans tout le parcours du torrent circulatoire, et, de préférence, dans les capillaires généraux au moment de la transformation du sang rouge en sang noir. — Les matières hydrocarbonées et les matières grasses ne pourraient d'ailleurs, à cause de l'introduction incessante de l'oxygène par les voies respiratoires, s'accumuler dans le sang, et, en effet, on ne les y trouve habituellement qu'en faible proportion. C'est dans ce fluide qu'avant d'arriver à l'état d'eau et d'acide carbonique, elles se bornent à subir leurs transformations successives, du moins chez les animaux qui n'augmentent ni ne diminuent en poids ; car évidemment ces transformations ne restent pas limitées au milieu dont il s'agit chez les animaux qui *engraissent*.

Le fait de l'existence, dans l'économie animale, de principes constituants des tissus, ayant la même composition élémentaire que ceux des tissus végétaux, conduit naturellement à rechercher si les matières féculentes et sucrées, qui font partie de l'alimentation, ne jouent pas encore un autre rôle que celui qu'on a coutume de leur attribuer, en les désignant sous le nom d'*aliments combustibles* ou *respiratoires* (*).

On avait remarqué, depuis longtemps, que tout aliment complet (le lait, les œufs, les graines de végétaux, etc.) renferme, indépendamment de l'eau et des sels minéraux, des principes immédiats *albuminoïdes*, *gras*, *féculents* ou *sucrés*. Ces mêmes principes se retrouvent tous dans le sang ; et l'on sait maintenant que ces trois espèces concourent, dans des proportions variables, à la constitution de différents tissus (épithélium, cartilages, muscles, parenchyme hépatique, tissu conjonctif des *insectes*, des *tuniciers*, etc.). — Il paraît impossible de ne pas voir

(*) Consultez, à ce sujet, l'intéressant mémoire de CH. ROUGET, intitulé : *Des substances amyloïdes et de leur rôle dans la constitution des tissus des animaux* (*Journal de la physiologie de l'homme et des animaux*, 1859).

entre ces faits fondamentaux une corrélation intime, le sang empruntant aux aliments et rendant aux tissus les substances azotées, grasses ou amyloïdes, nécessaires à l'entretien de l'organisme.

S'il est établi que certaines substances alimentaires puissent passer d'un groupe dans un autre, que le sucre et les fécules, par exemple, puissent, comme il vient d'être dit, se transformer en matières grasses, il est douteux que les substances protéiques ou albuminoïdes soient dans le même cas. Ce ne sont, en quelque sorte, que les matériaux de réserve qui sont soumis à ces transformations; rien ne porte d'ailleurs à penser qu'elles aient lieu régulièrement et nécessairement, et qu'après une série de dédoublements, de décompositions, les principes immédiats se reforment de toutes pièces pour faire partie intégrante des tissus. Il paraît, au contraire, qu'en général dans les animaux tout se borne à des modifications de la nature de celles que l'on observe dans les corps dits isomériques ou dans les dérivés d'un même radical : l'albumine végétale, l'albumine de l'œuf, la fibrine des muscles, la légumine, etc., deviennent de l'albuminose, de l'albumine du sérum, et celle-ci, à son tour, se métamorphose en substance contractile, en substance donnant de la gélatine ou de la chondrine, en globuline, en hémato-cristalline, etc., toutes substances protéiques du même groupe que l'albumine.

En est-il de même des substances amyloïdes? A l'époque où l'attention était uniquement concentrée sur la *formation du sucre par le foie*, on s'efforçait d'établir que ce phénomène était absolument indépendant de la nature de l'alimentation ; que le sucre pouvait et devait prendre naissance dans le foie aux dépens de substances protéiques, par un mode analogue à celui de la transformation de l'hématosine en sucre, transformation obtenue par Lehmann à l'aide de l'acide nitrique. Les matières féculentes, entrées comme *sucre* (glycose) dans la veine porte et arrivées sous cet état dans le foie, étaient, disait-on encore, détruites dans cet organe et changées en une autre matière qui avait toute l'apparence d'une substance graisseuse émulsionnée par un principe protéique spécial. — L'hypothèse de ces transformations, basée à peu près uniquement sur des formules théoriques, fut bientôt contredite par les faits. Cl. Bernard montra lui-même que le sucre se formait, non pas par la destruction d'un principe azoté, mais par une espèce de fermentation d'une *matière glycogène* préexistant dans le foie; le sang fournissait le *ferment*, et tout se passait, en somme, comme dans les végétaux où la fécule se transforme en sucre au contact de la *diastase* développée dans des cellules voisines de celles qui renferment les grains amylacés. La difficulté n'était pourtant que reculée, car on persistait à soutenir, pour la matière glycogène, ce qu'on avait dit d'abord pour le sucre, c'est-à-dire qu'elle prenait naissance aux dépens de substances protéiques ; opinion basée sur l'existence de cette matière chez les animaux uniquement nourris de viande.

Mais, même en admettant que, dans ce cas, la matière glycogène ait pour origine les substances protéiques de la chair musculaire, est-il exact de prétendre que, dans le cas où l'alimentation introduit dans l'économie des fécules ou du sucre, il n'y ait aucune relation entre ces substances alimentaires et la matière glycogène des tissus, et en particulier du tissu hépatique? Ch. Rouget (1) a montré que cette manière de voir est en contradiction avec l'interprétation exacte

(1) *Mém. cit.*

es résultats obtenus même par Cl. Bernard (1) : « La décoction du foie d'un chien nourri exclusivement de matières albuminoïdes est parfaitement limpide ; la décoction du foie d'un chien nourri avec une bouillie de fécule est au contraire trouble, opaline, ayant une apparence laiteuse. » — Cette apparence, Cl. Bernard la croyait due à la présence d'une *matière chyleuse*, d'une substance caséeuse mêlée de graisse. « Dans les fèces d'animaux qui n'ont pas été nourris avec une alimentation fortement sucrée ou féculente, ajoute-t-il, on n'obtient que de faibles proportions de cette substance caséeuse susceptible de céder de la matière grasse. » Cette prétendue *matière chyleuse*, cette substance caséeuse mêlée de graisse n'était autre chose que la *matière glycogène* dont, à cette époque, Cl. Bernard ne connaissait pas encore l'existence et les caractères (*). — Un autre expérimentateur a d'ailleurs montré l'influence directe d'une alimentation végétale sur le développement de la matière glycogène du foie : il résulte, en effet, de plusieurs séries d'expériences de W. Pavy (2), que, tandis que, chez des chiens nourris exclusivement de viande, la proportion moyenne d'*hépatine* (il désigne sous ce nom la matière glycogène contenue dans le foie) n'était que de 6,97 pour 100, cette proportion s'élevait à 17,23 pour 100 chez d'autres chiens nourris de pommes de terre bouillies, de farine d'orge ou de pain, et qu'elle se maintenait à 14,5 pour 100, lorsqu'à la nourriture animale on ajoutait une forte proportion de sucre.

En présence de ces derniers faits, il n'est guère permis de douter que les substances glycogènes des aliments ne soient la principale, sinon l'unique source des principes amyloïdes des tissus, de même que les aliments azotés sont, comme on le reconnaît généralement, la source des composés protéiques de l'économie.

Comparant les phénomènes de la nutrition chez les végétaux et les animaux, Ch. Rouget voit une parfaite analogie dans les différentes phases de la transformation des substances amyloïdes dans les deux cas. La cellulose, qui se forme pendant l'accroissement de la plante, provient de la séve ; celle-ci contient du sucre, de la gomme, etc., et la proportion de ces substances est plus considérable à l'époque où la végétation est plus active : dans une plante qui germe, comme nous l'avons déjà fait la remarque, la fécule de la graine ou du tubercule se transforme en sucre, et celui-ci se métamorphose à son tour en enveloppes de cellulose, ou en grains de fécule remplissant les cellules nouvellement formées de la même plante. De même chez les animaux, la fécule des aliments se change en sucre qui passe dans le sang, et c'est aux dépens de ce sucre que, par un effet progressif, se forment les principes amyloïdes des tissus eux-mêmes. — Chez les mammifères herbivores, le sang qui arrive au placenta contient du sucre en notable proportion, et c'est surtout chez eux que les tissus de l'embryon sont riches en principe amyloïde ou *zoamyline* (**). Chez les vertébrés ovipares, l'al-

(1) *Leçons cit.*, t. I, p. 149 et 150.

(*) Cette *matière chyleuse* était obtenue d'une décoction du foie, de laquelle on la précipitait par l'alcool ou par l'acide acétique cristallisable. On sait aujourd'hui, que le précipité obtenu dans ces conditions n'est autre que la *matière glycogène* impure, mêlée de graisse et de sucre.

(2) *The Influence of Diet on the Liver*, London (extrait de Guy's *Hospit. Reports*, 1859.)

(**) W. Prout (cité par Berzelius, *Traité de chimie*, trad. franç. Paris, 1833, t. VII, p. 567), ayant analysé l'eau de l'amnios d'une vache dans les premiers temps de la gestation, y trouva le *sucre de lait* et des *lactates*. — « La présence du sucre de lait dans ce liquide, dit Berzelius, est très remarquable sous le point de vue physiologique, et l'exactitude bien connue de Prout est le garant qu'on ne doit pas la considérer comme une observation précipitée. — On pourrait en

Ayant déjà signalé (p. 1016) les premiers changements que doivent subir les divers aliments d'origine organique, pour devenir absorbables et miscibles au sang, il nous reste à faire connaître la destination physiologique et les métamorphoses ultérieures de ces aliments, métamorphoses et destination d'ailleurs si différentes suivant la nature des éléments qu'ils sont appelés à introduire dans l'économie.

En traçant l'histoire de la digestion, nous avons rappelé que, les aliments minéraux étant mis un moment de côté, les aliments organiques peuvent être rapportés à deux groupes : d'une part, les matières albuminoïdes, qui représentent à elles seules les *aliments azotés;* d'autre part, les matières grasses et les matières féculentes ou sucrées qui constituent le groupe des *aliments non azotés.* — Examinons actuellement quel rôle spécial remplit chacun de ces groupes, dans le travail intime de la nutrition.

Tous les tissus de l'économie animale sont essentiellement formés par des matières organiques composées de carbone, d'hydrogène, d'oxygène et d'azote; les principes constitutifs du sang, fluide dans lequel ces tissus puisent leurs matériaux de développement ou d'entretien, sont également des matières azotées. Liebig (1) a donc pu, avec raison, poser en principe « que, toute matière *sanguifiable* et *assimilable* aux organes des animaux doit renfermer de l'*azote*, et ne saurait provenir de substances alimentaires grasses, saccharines ou amyloïdes. » Ces dernières, caractérisées par l'absence de l'azote, paraissent ne pouvoir être utilisées que dans la combustion respiratoire. Aussi Liebig, au point de vue de leur emploi dans la nutrition, a-t-il proposé de partager les aliments : 1° en *aliments plastiques*, comprenant la fibrine, l'albumine, la caséine et les autres principes immédiats azotés de provenance animale ou végétale; 2° en *aliments respiratoires*, comprenant les graisses, l'amidon, les sucres, la pectine, la bassorine, la bière, le vin, les liqueurs alcooliques, etc.

Destinés surtout à la réparation ou au développement des organes de l'économie, les *aliments* dits *plastiques* se combinent aussi, plus ou moins lentement, avec l'*oxygène* atmosphérique pour donner naissance à une certaine quantité d'eau, d'acide carbonique, d'acide urique, d'urée, etc.; mais, tout en s'oxydant en plus ou moins grande proportion, ils ne doivent pas disparaître promptement par la combustion, et sont réputés ne concourir, dans les circonstances ordinaires, que pour une assez faible part à l'entretien des actes chimiques de la respiration et à la production de la chaleur animale. Il n'en est plus de même des *aliments* appelés *respiratoires*, qui, au contraire, afin de prendre la plus grande part à la respiration et à la calorification, s'unissent rapidement à l'oxygène, et se consument en donnant naissance à de l'eau, à de l'acide carbonique et à un important dégagement de chaleur. — L'excès de ces derniers aliments, qui échappe à la combustion, est excrété avec les fèces, parfois avec les urines, ou bien, après transformation, il est utilisé, ne fût-ce qu'à titre de dépôt (graisse), par l'organisme animal.

Il ne faudrait pas néanmoins accorder une valeur trop absolue à cette distinction entre les *aliments plastiques* et les *aliments respiratoires;* elle n'est fondée que d'une manière générale. En effet, l'animal, longtemps privé d'une nourriture suffisante, continue à absorber de l'oxygène, et diminue de poids parce qu'il brûle

(1) *Lettres sur la chimie*, p. 228, trad. franç.

successivement d'abord ses graisses, puis son sang et ses propres tissus; de telle sorte que même des substances azotées qui avaient fait partie de sa trame organique fournissent des matériaux à l'oxygène de la respiration, et accidentellement deviennent aliments respiratoires. Au contraire, chez un animal adulte ayant achevé sa croissance, et qui néanmoins augmente de poids, c'est-à-dire qui *engraisse*, une certaine quantité des aliments dits *respiratoires* se dépose, nous venons de le voir, à l'état de graisse, dans la plupart des tissus. — La raison de ces faits paraît simple : si une matière non azotée ne peut constituer les tissus mêmes des organes et ne saurait qu'être employée à la combustion respiratoire ou mise en dépôt pour y subvenir plus tard, une matière azotée peut, au contraire, en vertu même de sa composition, être en partie brûlée et en partie assimilée aux tissus. On se rendra surtout nettement compte de ces faits si l'on envisage, à la manière de Liebig, la nutrition chez un carnivore. Supposons, dit-il, un animal qui se nourrisse exclusivement de la substance d'autres animaux : l'aliment qu'il ingère s'éloigne aussi peu que possible de sa propre substance, car ce sont aussi de la chair et du sang. Dans ce régime alimentaire, tout est sanguifiable, si l'on en excepte les ongles, les poils, les os. Au bout d'un certain temps, c'est-à-dire après l'entier accomplissement de la digestion, le carnivore a repris son poids primitif, de telle sorte qu'à ce moment il a perdu, par ses diverses excrétions, autant qu'il avait acquis d'abord par l'alimentation. Or, parmi ces excrétions, figurent l'acide carbonique et l'eau exhalés par les surfaces respiratoires ; la combustion respiratoire a donc eu lieu, et elle n'a *guère* pu employer que des matières azotées, puisque la substance même de l'animal et ses aliments en sont presque exclusivement formés. La quantité d'azote sortie par les voies aériennes est trop faible pour la quantité de matière azotée que supposent le carbone et l'hydrogène consommés ; mais les fèces et surtout les urines renferment une telle proportion d'azote, qu'évidemment cet élément chimique est spécialement rejeté par ces excrétions. Il semble donc très probable qu'en pareil cas les matières azotées ne viennent pas, de toutes pièces, s'offrir à l'oxygène atmosphérique introduit par l'organe respiratoire, mais qu'elles sont préalablement dédoublées en une matière carbonée qui se consume dans la respiration, et en une matière spécialement azotée qui s'en va par l'excrétion urinaire. — Mais, si l'alimentation exclusivement animale peut bien suffire aux besoins d'un carnassier adulte, elle paraît incapable de satisfaire aux besoins plus étendus d'un jeune animal de cette espèce qui se développe. Dans ce dernier, en effet, la combustion nutritive ne saurait employer à elle seule les aliments azotés qui prédominent dans ce régime, il faut qu'une partie notable de ces mêmes aliments soit réservée pour l'assimilation et prenne place dans les tissus eux-mêmes. Aussi voit-on les jeunes carnivores, durant leur premier âge, puiser dans la mamelle de leur mère un liquide, le *lait*, qui, comme celui des herbivores, contient, à côté de la matière azotée, du *sucre de lait* et du *beurre*, deux aliments respiratoires par excellence. Grâce à ces derniers principes, l'assimilation peut s'approprier à peu près en totalité la matière azotée qui seule est propre au développement des organes.

Faisons observer néanmoins, en terminant cet aperçu touchant le régime du *carnivore*, qu'en supposant un tel animal ne vivant que de chair musculaire ou même de sang, une pareille alimentation ne saurait encore être regardée comme exclusivement azotée : n'avons-nous pas vu précédemment que la plupart des tissus animaux renferment des *matières grasses*, et qu'en outre des *matières amyloïdes*

ou leurs dérivés (dextrine, inosite, etc.) se trouvent dans les liquides qui pénètrent la substance musculaire chez les animaux supérieurs ?

L'*animal herbivore* (et par ce mot nous entendons désigner tout animal pendant qu'il se nourrit de substance végétale) présente une nutrition qui, de prime abord, peut paraître moins simple dans ses procédés : avec de la matière végétale il fait de la matière animale; aussi serait-on porté à regarder en effet l'assimilation comme beaucoup plus difficile chez lui que chez le carnivore, si la chimie n'avait démontré que l'albumine, la fibrine, la caséine végétales ont la même composition et les mêmes propriétés que l'albumine, la fibrine et la caséine animales. La véritable différence importante est dans la faible proportion de matières azotées que renferment, sous un volume donné, les aliments des herbivores, relativement à la quantité de matières grasses et surtout de matières hydrocarbonées. Évidemment ici les aliments respiratoires sont en telle abondance, que les aliments plastiques doivent, dans les circonstances habituelles ou normales, ne prendre, pour ainsi dire, part qu'à l'assimilation qui développe ou entretient les tissus.

Rappelons, en passant, que le carnassier, qui se nourrit d'espèces herbivores qu'il recherche de préférence comme une proie plus facile et d'ailleurs plus abondante, représente, dans un poids donné de sa chair, la portion assimilée d'un poids plus considérable de chair d'herbivore, puisqu'une portion de celle-ci a été brûlée dans la respiration de l'animal carnassier lui-même; ajoutons que ce poids de chair d'herbivore, à son tour, n'est que la portion assimilée d'une masse plus pesante encore de matière végétale dont l'autre portion a été brûlée par l'herbivore. On est ainsi amené à conclure que la chair du carnassier est celle qui coûte le plus à produire. Cette simple remarque nous révèle, à travers les mystères de la nutrition des animaux, une des causes principales de la rareté des espèces carnivores comparativement aux espèces herbivores d'une même contrée. Mais les herbivores ne sont pas seulement plus nombreux que les carnassiers. ils ont encore, surtout parmi les mammifères, une taille généralement beaucoup plus élevée, la masse de leur corps est plus considérable, leur aptitude à l'engraissement beaucoup plus grande. Et il fallait bien qu'il en fût ainsi : car si le règne végétal constitue le magasin alimentaire dans lequel puisent incessamment les herbivores, ceux-ci, à leur tour, sont les dépositaires de la substance animalisée ou de l'aliment propre aux carnivores. Du reste, nous le savons déjà, plantes, animaux herbivores ou carnassiers, sont formés de matériaux tirés, en dernier résultat, du sol et de l'atmosphère, grands réservoirs et milieux intarissables d'où tout provient, où tout retourne.

Après ces vues d'ensemble sur la destination physiologique des *aliments azotés*, il faudrait pouvoir déterminer la série des transformations successives que doivent subir les principes réparateurs qui y sont contenus (albumine, fibrine, caséine, etc.) pour passer à l'état de matière nutritive ou *assimilable*. Malheureusement la science ne possède à ce sujet que des données insuffisantes et encore bien incertaines; elle n'est guère plus avancée que dans cet autre problème qui consiste à rechercher comment chaque partie organique peut *choisir*, dans les matériaux de nutrition, ce qui convient à sa nature et à sa destination particulières, pour se l'assimiler : ce dernier acte reste encore, en grande partie, le secret de la vie.

Quand on considère que, pendant l'incubation de l'œuf, l'*albumine* paraît se

transformer en fibrine et donner naissance, avec le concours de l'oxygène atmosphérique, à toutes les substances azotées de l'organisation animale rudimentaire, et qu'après cette époque l'albumine semble être encore comme la source et la base de toute la série de tissus particuliers qui sont le siége des activités organiques, il ne faut pas trop s'étonner qu'aux yeux d'un certain nombre d'observateurs, la digestion ait paru avoir pour essence de réduire tout en albumine, de transformer en ce principe tous les aliments, y compris ceux qui n'en contiennent pas la moindre trace avant de subir l'influence digestive. Nous avons dit ailleurs (*), à propos de l'examen de cette opinion, où est l'exagération, où est l'erreur. — Toujours est-il que, dans l'œuf des ovipares, la *fibrine* procède évidemment de l'albumine, alors seule existante, et qu'elle ne paraît être qu'un premier degré d'oxydation de cette dernière. La tendance naturelle de la fibrine à la coagulation ou à la formation solide a sans doute déterminé beaucoup de physiologistes à regarder ce principe azoté comme jouant, à son tour, le principal rôle dans les phénomènes de développement et de rénovation des tissus, où, par un mouvement qui ne s'interrompt qu'à la mort, on voit les fluides se solidifier et les solides se fluidifier sans cesse.

Nous venons de dire que, pendant l'incubation de l'œuf, l'albumine, qui existe seule dans l'origine, paraît se transformer en fibrine avec le concours de l'oxygène atmosphérique, et donner naissance à toutes les parties azotées de l'organisme. Mais il importe aussi de faire observer que, à une certaine époque de l'existence des jeunes mammifères, pareil rôle (celui de fournir à leurs tissus les éléments nécessaires pour s'accroître) semble revenir surtout à la *caséine*, qui, par sa nature azotée, serait ainsi appelée à remplir, dans la nutrition, une mission considérable et parallèle à celle de l'albumine. Mais la caséine elle-même, sauf une proportion moindre de soufre, renferme les mêmes éléments que l'albumine ou la fibrine, et à peu près dans les mêmes proportions. Aussi, très probablement la caséine tire-t-elle ses matériaux de formation de l'albumine du sang, sans qu'on puisse positivement décider si elle se forme seulement dans les glandes mammaires, ou si elle prend naissance déjà dans le sang lui-même : rappelons d'ailleurs qu'il suffit d'ajouter un peu d'alcali libre à l'albumine pour lui faire acquérir les caractères de la caséine. Réciproquement, ce principe azoté du lait, qui en représente l'élément nutritif principal, devra, à son tour, fournir au jeune animal les parties essentielles de son sang, et constituer nécessairement la matière première aux dépens de laquelle vont se développer ses divers organes : car ni le beurre, ni le sucre de lait ne renferment d'azote (**), et l'on sait qu'il est généralement reconnu que l'azote de l'atmosphère ne trouve pas d'emploi dans le développement organique des animaux.

Le substratum des différents tissus animaux paraît procéder en définitive de l'albumine : l'identité presque parfaite de la composition de ce principe avec celle de la fibrine et de la caséine, identité sur laquelle Liebig a particulièrement insisté, explique comment, dans l'économie, ces substances peuvent et doivent passer, avec la plus grande facilité, de l'une à l'autre, et conséquemment, après des

(*) Voir ci-dessus le chapitre DIGESTION.

(**) D'après LEHMANN, on ne rencontrerait l'*albumine* dans le lait qu'à la suite des affections inflammatoires des glandes mammaires. — Toutefois, comme l'ont surtout démontré les recherches de DOVÈRE, elle existe, en *faible proportion*, comme principe normal de ce liquide.

métamorphoses plus ou moins profondes, concourir simultanément à l'accroissement ou à la rénovation des tissus.

Quoi qu'il en soit de la suprématie à accorder à tel ou tel de ces principes dans le rôle dont il s'agit, nous résumerons ce qui concerne l'*emploi des aliments azotés* dans le travail intime de la nutrition, en nous bornant à rappeler que les matières albuminoïdes ou azotées neutres, qui constituent cette classe d'aliments, éprouvent, dans le sang d'abord et de la part de l'oxygène qui y est contenu, puis dans les tissus eux-mêmes aux dépens de ce gaz exhalé avec le plasma, des degrés d'oxydation plus ou moins avancée ou une série de transformations chimiques variées, en vertu desquelles ces matières finissent par passer de l'état organique à l'état inorganique. — La créatine, la créatinine, l'acide inosique, la sarkine et la sarkosine, dans les *muscles ;* la leucine dans le *sang ;* l'urée, l'acide urique, l'acide hippurique, la cystine, la xanthine, etc., dans l'*urine ;* les acides cholique et choléique dans la *bile ;* l'acide sudorique ou hidrotique dans la *sueur ;* enfin l'eau et l'acide carbonique sont autant de produits (quelques-uns intermédiaires, mais la plupart définitifs) des métamorphoses des *principes alimentaires azotés*, sous l'influence oxydante de l'oxygène atmosphérique. Rappelons aussi que les animaux exhalent normalement une certaine proportion d'azote, et que, par conséquent, cet élément gazeux peut aussi s'échapper de l'économie à l'état libre.

II. — Examinons actuellement la manière dont les *aliments non azotés* ou *respiratoires* se comportent dans l'économie animale pour servir surtout à la combustion nutritive. Il suffit de se reporter à la composition chimique des parties solides et des humeurs, pour constater que les matières hydrocarbonées (saccharines ou amyloïdes) y sont bien moins abondantes que les matières grasses. En effet, il n'existe presque point de tissus animaux qui ne contiennent de la graisse, tandis qu'on en signale seulement un certain nombre dans la constitution desquels entrent des substances amyloïdes ou hydro-carbonées (*). Il paraît donc évident que les matières hydrocarbonées, qui sont des plus combustibles, se consument ou bien *se transforment* avec une grande facilité dans l'organisme des animaux. Les carnivores, il est vrai, en ingèrent une quantité si faible, que cette remarque a, pour ce qui les concerne, un faible intérêt ; mais les omnivores et les herbivores brûlent avant tout des substances de cette nature. — On sait qu'en certaines occasions les choses se passent d'une manière analogue dans les plantes : le végétal chargé de bourgeons possède, en divers points de son organisme, des dépôts de matière féculente ou hydrocarbonée qui entrent dans la séve à l'état de *sucre*, et se consument pendant le développement des nouvelles parties (comme aussi pendant la floraison), en produisant de l'eau, de l'acide carbonique et de la chaleur.

Comme la graisse animale ne provient pas exclusivement des matières grasses ingérées avec les aliments, et comme les substances amyloïdes elles-mêmes, en se modifiant dans l'organisme, sont aptes aussi à en produire, on a pu avancer que c'est surtout sous la forme de graisse que ces substances hydrocarbonées restent dissimulées dans le corps des animaux. Cependant, ainsi que nous l'avons dit et

(*) Il y a quelque incertitude pour savoir si l'on doit mettre la *dextrine* et la *glycose* au nombre des matières qui entrent dans la composition permanente du *sang*, attendu que la dextrine (Sanson) et surtout la glycose paraissent y être promptement détruites, sans doute par l'oxygène contenu dans ce liquide.

comme nous le prouverons tout à l'heure, il est manifeste que plusieurs tissus empruntent à l'alimentation une certaine quantité de matière amyloïde qu'ils gardent en eux, sans la transformer au moins immédiatement (*zoamyline*). Mais, sauf la petite quantité qu'en peut réclamer la constitution de ces tissus, les principes hydrocarbonés sont destinés principalement à être brûlés par l'oxygène atmosphérique et à dégager de la chaleur, pour s'échapper ensuite sous la forme d'acide carbonique et d'eau. Toutefois, rappelons encore que, si l'alimentation renferme un excès de matières amyloïdes ou sucrées, cet excès pourra être converti en graisse qui se déposera dans les tissus ; que si, au contraire, ces combustibles par excellence font défaut ou sont en trop faible proportion, la graisse formée sera reprise çà et là dans l'économie pour se consumer à leur place ; et qu'enfin, si cette réserve elle-même devient insuffisante, les matières azotées pourront prendre, à leur tour, le rôle des précédentes substances.

Quoi qu'il en soit, le dernier terme de la combustion des matières grasses ou des matières sucrées, nous le répétons, est représenté par de l'acide carbonique et de l'eau qui sont éliminés spécialement par les reins, la peau et les poumons. Ces produits ultimes proviennent du foyer où s'engendre la chaleur indispensable au jeu des organes comme aux transmutations qui s'accomplissent dans le corps des animaux. En exposant la théorie de la respiration, nous avons dit que le lieu où s'effectue la combustion respiratoire ne saurait être précisé : les combustibles sont dans le sang, l'oxygène s'y trouve également ; l'oxydation ou combustion lente a sans doute lieu dans tout le parcours du torrent circulatoire, et, de préférence, dans les capillaires généraux au moment de la transformation du sang rouge en sang noir. — Les matières hydrocarbonées et les matières grasses ne sauraient d'ailleurs, à cause de l'introduction incessante de l'oxygène par les voies respiratoires, s'accumuler dans le sang, et, en effet, on ne les y trouve habituellement qu'en faible proportion. C'est dans ce fluide qu'avant d'arriver à l'état d'eau et d'acide carbonique, elles se bornent à subir leurs transformations successives, du moins chez les animaux qui n'augmentent ni ne diminuent en poids ; car évidemment ces transformations ne restent pas limitées au milieu dont il s'agit chez les animaux qui *engraissent*.

Le fait de l'existence, dans l'économie animale, de principes constituants des tissus, ayant la même composition élémentaire que ceux des tissus végétaux, conduit naturellement à rechercher si les matières féculentes et sucrées, qui font partie de l'alimentation, ne jouent pas encore un autre rôle que celui qu'on a coutume de leur attribuer, en les désignant sous le nom d'*aliments combustibles* ou *respiratoires* (*).

On avait remarqué, depuis longtemps, que tout aliment complet (le lait, les œufs, les graines de végétaux, etc.) renferme, indépendamment de l'eau et des sels minéraux, des principes immédiats *albuminoïdes*, *gras*, *féculents* ou *sucrés*. Ces mêmes principes se retrouvent tous dans le sang ; et l'on sait maintenant que les trois espèces concourent, dans des proportions variables, à la constitution de différents tissus (épithélium, cartilages, muscles, parenchyme hépatique, tissu conjonctif des *insectes*, des *tuniciers*, etc.). — Il paraît impossible de ne pas voir

(*) Consultez, à ce sujet, l'intéressant mémoire de Ch. Robert, intitulé : *Des substances amyloïdes et de leur rôle dans la constitution des tissus des animaux* (*Journal de la physiologie de l'homme et des animaux*, 1859).

entre ces faits fondamentaux une corrélation intime, le sang empruntant aux aliments et rendant aux tissus les substances azotées, grasses ou amyloïdes, nécessaires à l'entretien de l'organisme.

S'il est établi que certaines substances alimentaires puissent passer d'un groupe dans un autre, que le sucre et les fécules, par exemple, puissent, comme il vient d'être dit, se transformer en matières grasses, il est douteux que les substances protéiques ou albuminoïdes soient dans le même cas. Ce ne sont, en quelque sorte, que les matériaux de réserve qui sont soumis à ces transformations; rien ne porte d'ailleurs à penser qu'elles aient lieu régulièrement et nécessairement, et qu'après une série de dédoublements, de décompositions, les principes immédiats se reforment de toutes pièces pour faire partie intégrante des tissus. Il paraît, au contraire, qu'en général dans les animaux tout se borne à des modifications de la nature de celles que l'on observe dans les corps dits isomériques ou dans les dérivés d'un même radical : l'albumine végétale, l'albumine de l'œuf, la fibrine des muscles, la légumine, etc., deviennent de l'albuminose, de l'albumine du sérum, et celle-ci, à son tour, se métamorphose en substance contractile, en substance donnant de la gélatine ou de la chondrine, en globuline, en hémato-cristalline, etc., toutes substances protéiques du même groupe que l'albumine.

En est-il de même des substances amyloïdes? A l'époque où l'attention était uniquement concentrée sur la *formation du sucre par le foie*, on s'efforçait d'établir que ce phénomène était absolument indépendant de la nature de l'alimentation ; que le sucre pouvait et devait prendre naissance dans le foie aux dépens de substances protéiques, par un mode analogue à celui de la transformation de l'hématosine en sucre, transformation obtenue par Lehmann à l'aide de l'acide nitrique. Les matières féculentes, entrées comme *sucre* (glycose) dans la veine porte et arrivées sous cet état dans le foie, étaient, disait-on encore, détruites dans cet organe et changées en une autre matière qui avait toute l'apparence d'une substance graisseuse émulsionnée par un principe protéique spécial. — L'hypothèse de ces transformations, basée à peu près uniquement sur des formules théoriques, fut bientôt contredite par les faits. Cl. Bernard montra lui-même que le sucre se formait, non pas par la destruction d'un principe azoté, mais par une espèce de fermentation d'une *matière glycogène* préexistant dans le foie; le sang fournissait le *ferment*, et tout se passait, en somme, comme dans les végétaux où la fécule se transforme en sucre au contact de la *diastase* développée dans des cellules voisines de celles qui renferment les grains amylacés. La difficulté n'était pourtant que reculée, car on persistait à soutenir, pour la matière glycogène, ce qu'on avait dit d'abord pour le sucre, c'est-à-dire qu'elle prenait naissance aux dépens de substances protéiques ; opinion basée sur l'existence de cette matière chez les animaux uniquement nourris de viande.

Mais, même en admettant que, dans ce cas, la matière glycogène ait pour origine les substances protéiques de la chair musculaire, est-il exact de prétendre que, dans le cas où l'alimentation introduit dans l'économie des fécules ou du sucre, il n'y ait aucune relation entre ces substances alimentaires et la matière glycogène des tissus, et en particulier du tissu hépatique? Ch. Rouget (1) a montré que cette manière de voir est en contradiction avec l'interprétation exacte

(1) *Mém. cit.*

des résultats obtenus même par Cl. Bernard (1) : « La décoction du foie d'un chien nourri exclusivement de matières albuminoïdes est parfaitement limpide ; la décoction du foie d'un chien nourri avec une bouillie de fécule est au contraire trouble, opaline, ayant une apparence laiteuse. » — Cette apparence, Cl. Bernard la croyait due à la présence d'une *matière chyleuse*, d'une substance caséeuse mêlée de graisse. « Dans les fèces d'animaux qui n'ont pas été nourris avec une alimentation fortement sucrée ou féculente, ajoute-t-il, on n'obtient que de faibles proportions de cette substance caséeuse susceptible de céder de la matière grasse. » Cette prétendue *matière chyleuse*, cette substance caséeuse mêlée de graisse n'était autre chose que la *matière glycogène* dont, à cette époque, Cl. Bernard ne connaissait pas encore l'existence et les caractères (*). — Un autre expérimentateur a d'ailleurs montré l'influence directe d'une alimentation végétale sur le développement de la matière glycogène du foie : il résulte, en effet, de plusieurs séries d'expériences de W. Pavy (2), que, tandis que, chez des chiens nourris exclusivement de viande, la proportion moyenne d'*hépatine* (il désigne sous ce nom la matière glycogène contenue dans le foie) n'était que de 6,97 pour 100, cette proportion s'élevait à 17,23 pour 100 chez d'autres chiens nourris de pommes de terre bouillies, de farine d'orge ou de pain, et qu'elle se maintenait à 14,5 pour 100, lorsqu'à la nourriture animale on ajoutait une forte proportion de sucre.

En présence de ces derniers faits, il n'est guère permis de douter que les substances glycogènes des aliments ne soient la principale, sinon l'unique source des principes amyloïdes des tissus, de même que les aliments azotés sont, comme on le reconnaît généralement, la source des composés protéiques de l'économie.

Comparant les phénomènes de la nutrition chez les végétaux et les animaux, Ch. Rouget voit une parfaite analogie dans les différentes phases de la transformation des substances amyloïdes dans les deux cas. La cellulose, qui se forme pendant l'accroissement de la plante, provient de la séve ; celle-ci contient du sucre, de la gomme, etc., et la proportion de ces substances est plus considérable à l'époque où la végétation est plus active : dans une plante qui germe, comme nous en avons déjà fait la remarque, la fécule de la graine ou du tubercule se transforme en sucre, et celui-ci se métamorphose à son tour en enveloppes de cellulose, ou en grains de fécule remplissant les cellules nouvellement formées de la jeune plante. De même chez les animaux, la fécule des aliments se change en sucre qui passe dans le sang, et c'est aux dépens de ce sucre que, par un effet régressif, se forment les principes amyloïdes des tissus eux-mêmes. — Chez les mammifères herbivores, le sang qui arrive au placenta contient du sucre en notable proportion, et c'est surtout chez eux que les tissus de l'embryon sont riches en principe amyloïde ou *zoamyline* (**). Chez les vertébrés ovipares, l'al-

(1) *Leçons cit.*, t. I, p. 149 et 159.

(*) Cette *matière chyleuse* était obtenue d'une décoction du foie, de laquelle on la précipitait par l'alcool ou par l'acide acétique cristallisable. On sait aujourd'hui, que le précipité obtenu dans ces conditions n'est autre que la *matière glycogène* impure, mêlée de graisse et de sucre.

(2) *The Influence of Diet on the Liver*, London (extrait de Guy's *Hospit. Reports*, 1859.)

(**) W. Prout (cité par Berzelius, *Traité de chimie*, trad. franç. Paris, 1833, t. VII, p. 567), ayant analysé l'eau de l'amnios d'une vache dans les premiers temps de la gestation, y trouva du *sucre de lait* et des *lactates*. — « La présence du sucre de lait dans ce liquide, dit Berzelius, est très remarquable sous le point de vue physiologique, et l'exactitude bien connue de Prout est un garant qu'on ne doit pas la considérer comme une observation précipitée. — On pourrait en

bumine et le jaune de l'œuf renferment du sucre ; mais ce sucre n'est pas en très forte proportion, aussi les tissus des embryons d'ovipares contiennent-ils beaucoup moins de matière glycogène que ceux des embryons de mammifères.

Il resterait à expliquer la formation de la matière glycogène chez les animaux exclusivement carnivores. A cet égard, de même qu'on s'était efforcé de trouver du *sucre* dans le sang et dans la viande des animaux de boucherie, de même aussi on a cherché à établir que la chair des animaux qui servent à la nourriture des carnivores contient une *matière glycogène ;* et il faut reconnaître que, si tous les résultats annoncés par A. Sanson (1) n'ont pas été confirmés, il n'est pas moins résulté de ses recherches ce fait important, accepté et vérifié par d'autres observateurs : c'est que, chez les animaux dont l'alimentation est riche en fécule, celle-ci peut passer dans le sang et être retrouvée dans les muscles *à l'état de dextrine.* — Ce fait exige une nouvelle vérification de toutes les expériences antérieures dans lesquelles on n'avait recherché que le *sucre* (glycose), seul produit de la transformation des fécules dont on connût alors l'absorption directe par les vaisseaux de l'intestin.

Il existe encore un autre ordre de faits qui tendrait à prouver que les animaux, exclusivement nourris de viande (chair musculaire), ne sont pas entièrement privés de substances glycogènes. Les muscles des fœtus et ceux des mammifères nouveau-nés renferment une quantité notable de plasma amylacé, qui semble disparaître quelques heures après la naissance. Mais dans certaines conditions, chez l'adulte, de la substance glycogène reparaît dans le tissu musculaire, pendant l'hibernation, par exemple, ou bien aussi dans les muscles d'un membre condamné au repos absolu par la section de ses nerfs moteurs : il semble qu'alors la présence de cette matière devienne sensible parce que, n'étant pas dépensée, elle s'accumule; tandis que, dans les conditions ordinaires d'activité, elle est transformée, presque aussitôt qu'elle apparaît, par la nutrition des éléments musculaires. — Ce qui vient à l'appui de cette opinion de Ch. Rouget, qu'une substance amylacée prend part à la constitution du tissu musculaire, et se détruit à mesure que les éléments de ce tissu fonctionnent, c'est la présence, dans le suc extrait des muscles, de l'*inosite* et surtout de l'*acide lactique.* L'existence de ces principes se rattache si directement à celle d'une substance amylacée, que c'est en constatant que l'acide lactique se développait abondamment dans le tissu musculaire des fœtus que Cl. Bernard fut conduit à découvrir, dans ce tissu, le sucre d'abord et plus tard la matière glycogène. — Dans les derniers temps de la vie utérine, la substance amyloïde des muscles du fœtus ne donne plus lieu qu'à la fermentation lactique. Or, on trouve cet acide dans les muscles chez l'adulte ; aussi est-il d'autant plus naturel d'en conclure la préexistence d'une matière identique avec celle qui, chez le fœtus, donne lieu à la formation du même acide, que cette substance peut être directement constatée, chez l'adulte, dans les conditions spéciales que nous venons de mentionner plus haut.

Ainsi l'acte de la nutrition paraît se borner à fixer, en les modifiant très légèrement, dans les *tissus amyloïdes*, les substances de même nom introduites dans le

déduire, ajoute BERZELIUS, comme conséquence vraisemblable, que les principes constituants de l'eau de l'amnios sont destinés à être absorbés par le fœtus et à servir à son développement, puisque les mêmes substances se trouvent aussi dans le lait. »

(1) *Journal de la physiologie de l'homme et des animaux*, t. I, p. 244, 1858, et t. II, p. 104, 1859). — Même recueil, Rapport de POGGIALE sur le travail de SANSON, p. 118-40.

ang par l'alimentation. — Si la transformation du sucre en matières glycogènes st le premier terme de l'acte nutritif, la *production du sucre*, aux dépens de es mêmes matières, *paraît être le dernier terme de la nutrition des précédents issus.*

Tous les faits relatifs à la présence du sucre chez le fœtus, à la présence de cette ubstance dans le foie de l'adulte, s'adaptent naturellement et simplement à cette anière de voir. Que le sucre se produise aux dépens de la matière glycogène de amnios, de celle du poumon, de la dextrine des muscles, ou bien aux dépens e la matière glycogène du foie, et au contact du sang, c'est bien évidemment, ns tous ces cas, un phénomène de même nature : ce n'est jamais le résultat une fonction spéciale de tel ou tel organe, c'est le dernier terme d'un acte d'ailurs commun à tous les tissus de l'économie, la *nutrition.*

Dans les conditions tout à fait normales, la nutrition du foie introduit dans le ng qui sort de cet organe des quantités *très faibles* de matières sucrées, ainsi u'il semble résulter des expériences de W. Pavy (1). Mais la circulation hépatique ent-elle à être troublée, soit par un obstacle à la respiration, soit par compression u foie, soit par une irritation directe ou réflexe de ses nerfs vaso-moteurs (Schiff), nitôt la congestion ou l'hypérémie du foie est suivie d'un accroissement plus ou oins exagéré de l'activité nutritive, (*irritation nutritive* de Virchow) ; le sucre paraît en quantité plus ou moins considérable dans le sang des veines sus-hépaques, et, ne pouvant pas être détruit dans le sang si sa proportion dépasse pour 100 (Lehmann), il passe dans les urines. — La production d'un diabète tificiel par l'introduction de substances irritantes (éther, chloroforme, térébenine) dans le sang de la veine porte, est un des faits qui concordent le mieux ec cette manière de voir. — Quant à l'influence de l'irritation des pneumostriques, de la piqûre du plancher du quatrième ventricule sur la proaction du sucre par le foie, Bernard lui-même ramène toutes ces actions à un let commun (2), à l'excitation réflexe des nerfs vasculaires du foie et à la conestion active des vaisseaux hépatiques qui en est la conséquence : afflux sanguin lus abondant dans cet organe, activité plus grande de la nutrition, augmentation ns la production du sucre, ce sont là trois termes évidemment corrélatifs. — a piqûre de la moelle au-dessous des nerfs phréniques ralentit la circulation abominale, les vaisseaux du foie sont moins pleins de sang, la température s'abaisse, nutrition se ralentit, le sucre disparaît.

En résumé, certains tissus animaux possèdent, comme élément constituant, ne substance amyloïde : dans l'acte d'échange des matières, acte essentiel de la utrition, ces tissus, après s'être approprié d'abord (à l'état de substances glycoènes ou amyloïdes) le sucre ou la dextrine introduits dans le sang par l'alimentaon, rendent à ce fluide, directement ou par l'intermédiaire des lymphatiques (*), n *sucre*, produit de désassimilation formé ou plutôt reformé dans l'organisme. a production de sucre n'est pas le but, mais seulement la conséquence de la préence de matières amyloïdes dans certains tissus organiques : elle résulte de la

(1) *On the alleged Sugar forming Function of the Liver* (Guy's *Hospital Reports*, 1859).
(2) *Mém. de la Société de biologie*, 1857, p. 6.

(*) Poiseuille et Lefort ont trouvé dans la lymphe une proportion de sucre plus considérable ème que dans le sang artériel (*Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris*, 5 avril 158).

désassimilation de ces matières comme l'*urée* résulte de la désassimilation des substances protéiques ou albuminoïdes.

A côté des matières amyloïdes et des matières grasses de l'alimentation, dont l'emploi a évidemment pour principal but l'entretien des phénomènes chimiques de la respiration et la production de la chaleur animale, doit aussi figurer l'*alcool* qui fait la base des boissons fermentées. On sait que le pouvoir calorifique d'un principe organique ternaire (corps gras, sucres, alcool, etc.) dépend de la quantité et de la nature des éléments combustibles que, sous un poids donné, ce principe introduit dans l'organisme. Précédemment, à propos de la composition élémentaire des matières grasses comparée à celle des matières amyloïdes et sucrées, nous rappelions que le pouvoir calorifique des premières était triple de celui des secondes. L'*alcool*, qui est un des principaux composés auxquels la *fermentation du sucre* donne naissance, possède, d'après sa composition, un pouvoir calorifique intermédiaire à celui des principes immédiats ternaires contenus dans chacun des deux groupes précédents. — Du reste, l'alcool, sauf une proportion indéterminée qui s'échappe en vapeur par les voies aériennes, est détruit en totalité par l'oxygène dans le torrent circulatoire; il est aussi définitivement amené à l'état minéral et exhalé sous la forme ultime d'acide carbonique et d'eau.

Il se passe des heures, d'après la remarque de Liebig, avant que l'amidon du pain, qui se dissout dans le tube digestif sous forme de glycose, passe dans le sang et y trouve de l'emploi. L'effet de la graisse est encore plus lent, mais aussi, à la vérité, il persiste plus longtemps. De tous les aliments respiratoires, l'alcool est celui qui agit avec le plus de promptitude, sinon avec le plus d'intensité; comme aliment de cette sorte, il occupe donc un rang important. Aussi son ingestion peut-elle compenser, jusqu'à un certain point, l'usage des matières amylacées et des matières grasses. L'homme qui vit exclusivement du produit de sa chasse, comme l'Indien du nord de l'Amérique, prend une nourriture renfermant un excès d'aliments plastiques et à laquelle il manque en grande partie les aliments respiratoires indispensables (bien souvent, en effet, pendant la saison d'hiver, la chair des animaux tués à la chasse contient à peine de la graisse); de là, chez ces hommes carnivores, une propension particulière à boire de l'eau-de-vie qui, pour ceux qui en sont privés, se remplace par l'usage de l'huile de poisson.

On sait qu'en effet, dans leur alimentation, les peuples des régions polaires consomment une grande quantité de graisses (huile de poisson surtout); celles-ci sont nécessaires à l'activité de la combustion respiratoire qui doit entretenir la chaleur du corps dans ces climats glacés. Seulement, chez les habitants de ces contrées, vu l'énorme proportion de matières grasses absorbées en nature, ces matières ne sont pas entièrement employées par la respiration, et une partie s'en conserve dans l'organisme sous forme de dépôts adipeux; aussi, la plupart de ceux qui suivent un pareil régime sont-ils remarquables par un grand embonpoint.

Si l'on connaît la destination physiologique des matières grasses et des matières sucrées comme principale source de la chaleur animale, on est loin de savoir d'une manière précise quelles sont toutes les phases intermédiaires de l'oxydation de ces deux ordres de matières avant leur transformation définitive en eau et en acide carbonique. Toutefois, pour les matières amyloïdes, en particulier, il est assez généralement admis qu'après s'être d'abord convertis en *dextrine* et en

glycose, elles peuvent donner naissance, dans l'intestin grêle, à de l'*acide lactique* et à de l'*acide acétique*, puis à de l'*acide butyrique*, avec dégagement d'hydrogène et d'acide carbonique qui se rencontrent parmi les produits gazeux de l'intestin. Or, l'acide lactique, formé dans le tube digestif aux dépens de la glycose, a été regardé, pendant qu'il maintient l'acidité des milieux, comme propre à favoriser la continuation des métamorphoses des aliments albuminoïdes, en même temps que, par ses propriétés dissolvantes, il faciliterait l'absorption du contenu de l'intestin. — Quant aux conditions intimes de l'organisme qui seraient nécessaires à la transformation ultime de la glycose en *eau* et en *acide carbonique*, on a avancé, sans preuves suffisantes, que c'est par l'intervention des alcalis du sang que la glycose se décompose, s'oxyde, brûle et devient un véritable aliment respiratoire.

Pour terminer ce qui nous reste à dire de l'*emploi des aliments*, il nous faudrait examiner certains principes inorganiques dont le rôle, dans la nutrition, est assez important pour leur avoir mérité le nom d'*aliments minéraux*.

Mais, auparavant, nous croyons devoir traiter la question de l'*engraissement*, qui d'ailleurs se rattache intimement aux précédentes études sur la destination physiologique des matières amyloïdes et des matières grasses de l'alimentation. La propriété que les principes amyloïdes et sucrés ont de *se transformer en graisse* sous l'influence de la vie, et les recherches qui consistent à déterminer les dédoublements en vertu desquels cette transformation s'opère chez des sujets d'ailleurs bien nourris, sont un but d'études aussi intéressantes pour les spéculations du physiologiste qu'elles sont fécondes en utiles applications pratiques.

III. — Tous les êtres vivants ont la propriété remarquable de tenir en réserve des matériaux destinés à subvenir aux besoins de la combustion nutritive alors que celle-ci voit diminuer ses ressources ou augmenter exceptionnellement son intensité.

Dans les plantes, ce sont les substances amyloïdes et sucrées qui jouent surtout un pareil rôle ; souvent aussi les matières grasses leur sont adjointes dans la même prévision et pour le même but. De là ces amas parfois si abondants de fécule, de matière sucrée, ou d'huiles d'espèces diverses qu'on observe dans les fruits, les graines, les bourgeons, les tiges ou les racines. — Chez les animaux, ce sont à peu près exclusivement les matières grasses qui forment les matériaux de réserve dont nous parlons, soit qu'elles aient été ingérées avec les aliments, soit qu'elles résultent d'une transformation des hydrates de carbone (sucre ou amidon) : on les voit alors s'accumuler, sous la forme de dépôts solides, dans de petites vésicules constituant le tissu adipeux, notamment sous la peau, sous le péritoine, dans les espaces intermusculaires, les cavités des os longs, etc., où elles représentent en effet une véritable réserve de matières combustibles qu'emploie l'organisme toutes les fois qu'il s'agit de compenser une alimentation insuffisante et d'établir ainsi une sorte de balance. Cette mise en œuvre des dépôts adipeux s'observe particulièrement chez les animaux soumis à un jeûne prolongé, soit dans les expériences des physiologistes, soit par suite des maladies ou bien chez diverses espèces (animaux hibernants), pendant certaines périodes de leur vie.

En traitant de la *faim* et de la *soif*, nous avons déjà signalé les phénomènes que provoque l'*alimentation insuffisante ou l'inanition* absolue, et, parmi eux, figure une

perte de graisse bien plus considérable que celle qu'éprouve toute autre partie constituante de l'organisme (*). Qui n'a été frappé de l'amaigrissement si rapide des malades en proie à des affections rendant toute alimentation impossible, ou de l'amaigrissement progressif de ceux dont une sécrétion de pus abondante épuise les ressources que réclamerait la combustion nutritive? Est-il aussi besoin de rappeler que les animaux hibernants, les chrysalides des insectes se préparent à subir leur période de jeûne en accumulant de la graisse, et que, quand une marmotte, par exemple, se réveille après l'hiver, ou quand un papillon sort de sa chrysalide, la plus grande partie de cette graisse est consommée, qu'elle a été brûlée lentement pendant la période d'inanition ?

Le rôle des matières grasses mises en réserve dans l'organisme animal ne paraît donc pas douteux ; mais les conditions qui président à leur production et à leur accumulation demandent à être examinées en détail.

Le corps des animaux renferme toujours une certaine quantité de graisse, et plusieurs points de l'organisme, qui varient selon les espèces, semblent spécialement destinés à en recevoir le dépôt. Durant le premier âge, cette quantité est d'autant plus abondante que l'animal est plus jeune ; réduite à une moindre proportion dans l'âge adulte, elle se maintient à peu près constante dans les conditions ordinaires ; puis, quand arrive la vieillesse, la graisse se consomme peu à peu et les animaux que l'âge fait succomber offrent, en général, un état d'amaigrissement notable. Sans être amaigris, comme les sujets que la maladie a épuisés, les animaux sauvages (notamment les carnivores) ne possèdent que peu de graisse et n'en accumulent jamais en grande quantité : leur respiration, accélérée par l'activité de leur libre existence, maintient l'équilibre à cet égard. Quant aux animaux domestiques, on sait combien il est en général facile de provoquer leur *engraissement*, à la condition de les priver de mouvement, de les tenir dans un milieu tempéré et de leur fournir une alimentation abondante ; mais le retour au travail ou à une libre activité ne tarde pas à les ramener à leur état primitif. L'influence prolongée du repos et des autres causes d'embonpoint peut même produire, chez eux, un engraissement excessif, comme cela se voit surtout chez certains porcs, moutons ou bœufs. L'homme offre quelquefois la même particularité ; chez lui, l'obésité (abstraction faite d'ailleurs des prédispositions individuelles) est aussi assez communément le résultat d'un repos exagéré et d'une alimentation abondante.

Ces faits ont amené Liebig (1) à conclure que la production de la graisse, chez les animaux, est la conséquence d'une disproportion entre la quantité des aliments consommés et la quantité de l'oxygène absorbé par la peau et le poumon. Dans les conditions normales, la graisse mise en réserve dans l'organisme demeure intacte, ou bien la portion consommée pour compléter les matériaux combustibles nécessaires à la production de la chaleur est rapidement remplacée par l'alimentation. Lorsque l'engraissement a lieu, non-seulement rien n'est prélevé sur le dépôt de matières grasses déjà existant, mais encore de nouvelles quantités s'y ajoutent, qui forment un excédant sur la portion des aliments consommée par l'oxydation ou employée par l'assimilation. — Il est remarquable que l'engraissement a lieu difficilement sous l'influence d'un régime exclusivement animal : le carnivore mange moins que l'herbivore, trouve dans ses aliments moins

(*) *Voir ci-dessus le chapitre* DIGESTION, p. 29.

(1) *Chimie organique appliquée à la physiologie animale*, p. 90, trad. franç.

de matières non azotées, et ce n'est guère qu'en le soumettant à un régime mixte qu'on le peut engraisser. Mais rien n'égale la facilité avec laquelle les herbivores se prêtent à un engraissement rapide dans des conditions favorables de repos et de température : chez eux, il n'y a pas de repas distincts ; ils mangent d'une manière continue, circonstance qui contribue évidemment à leur assurer cette aptitude singulière. Ainsi, là où l'engraissement se fait le mieux, on constate une copieuse alimentation, et surtout l'abondance des matières grasses ou des matières hydrocarbonées qui caractérise le régime végétal. L'expérience a même enseigné aux nourrisseurs que l'introduction dans l'alimentation des tourteaux de colzas, des graines ou des fruits riches en huile, favorise singulièrement l'engraissement (1). Comme d'ailleurs les physiologistes ont reconnu que les matières grasses se retrouvent en nature dans le chyle, puis dans le sang lui-même (du moins pendant la période digestive), on a été amené à penser que la graisse qui s'accumule chez les animaux est celle que contiennent leurs aliments, sauf de légères transformations. En poursuivant les conséquences de cette opinion, on arriverait à conclure, si elle était exacte, que toute la graisse animale proviendrait, en dernier résultat, des graisses végétales renfermées dans la nourriture des herbivores. — Une pareille opinion méritait d'être examinée, et en effet elle souleva, il y a près de vingt années, une discussion qui ne fut pas sans quelque retentissement.

Au commencement de l'année 1843, Boussingault, Dumas et Payen (2) communiquaient à l'Académie des sciences de Paris un mémoire intitulé : *Recherches sur l'engraissement des bestiaux et la formation du lait*, mémoire dans lequel, dès le début, se trouve formulée l'opinion qui précède. « Tous les animaux, y est-il dit, toutes les plantes, contiennent de la matière grasse ; en la voyant s'accumuler dans certains de leurs tissus, en la voyant se modifier et disparaître parfois, la première pensée de tous les observateurs a dû pencher vers cette opinion, généralement admise, que les matières grasses se produisent au moyen des aliments de la plante ou de l'animal, et par des procédés analogues sans doute dans les deux règnes. Les recherches dont nous allons exposer le précis tendent au contraire à établir que *les matières grasses ne se forment que dans les plantes, qu'elles passent toutes formées dans les animaux*, et que là elles peuvent se brûler immédiatement pour développer la chaleur dont l'animal a besoin, ou se fixer, plus ou moins modifiées, dans les tissus, pour servir de réserve à la respiration. »

Les éminents auteurs de ces recherches s'attachaient ensuite à démontrer : 1° qu'*au point de vue chimique*, jusqu'à eux, aucune réaction n'avait transformé en un corps gras, ni la chair, et en général les matières albuminoïdes, ni l'amidon et ses congénères ; 2° qu'*au point de vue physiologique*, chez les carnivores ou les herbivores, la graisse des aliments suffisait pour expliquer l'origine de toute la matière adipeuse que l'on trouve chez ces animaux. — « Dans cette opinion, dit Payen (3), au nom de ses deux collaborateurs, les matières grasses se formeraient principalement dans les feuilles des plantes, et elles y affecteraient la forme et les propriétés des matières cireuses. En passant dans le corps des herbivores, ces matières, forcées de subir dans leur sang l'influence de l'oxygène, y éprouveraient un commencement d'oxydation, d'où résulterait l'*acide stéarique* ou *oléique* qu'on rencontre dans le suif. En subissant une seconde éla-

(1) Boussingault, *Économie rurale*, t. II, p. 571, 2e édit.
(2) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XVI, p. 345.
(3) *Loc. cit.*

boration dans les carnivores, ces mêmes matières, oxydées de nouveau, produiraient l'*acide margarique* qui caractérise leur graisse. Enfin ces divers principes par une oxydation encore plus avancée, pourraient donner naissance aux *acides gras volatils* qui apparaissent dans le sang et dans la sueur..... tels que les acides caproïque, caprique, hircique et butyrique. »

Telles sont les bases de la théorie qui concerne la formation de la graisse des animaux aux dépens des matières grasses contenues dans les plantes ; et la possibilité d'une semblable théorie est établie chimiquement. Mais un autre phénomène avait été également démontré possible par Dumas lui-même. Le sucre peut être considéré comme formé d'acide carbonique (CO^2), de gaz oléfiant (C^4H^4) et d'eau (HO); le gaz oléfiant, en se séparant du sucre, en prenant divers degrés de condensation et en fixant de l'eau, donne naissance à de l'alcool ordinaire, à de l'huile de pomme de terre, qui est bien un produit de la fermentation du sucre, et à divers autres alcools. L'oxydation peut transformer ces produits en acides gras, et par suite en graisses; de telle sorte que l'on est en droit d'attribuer une autre origine à une portion au moins des graisses animales, c'est-à-dire qu'*on peut les supposer dérivées des matières hydrocarbonées* de l'alimentation. — Entre ces deux possibilités l'expérimentation devait prononcer, et c'est par elle en effet que la question a été résolue.

A l'appui de la dernière de ces opinions, viennent d'abord des expériences de F. Huber (1), qui ont pris dans ce débat une place importante. Ce scrupuleux observateur avait reconnu, bien avant la discussion dont il s'agit, que *les abeilles* nourries avec du miel, *et même exclusivement avec du sucre*, *possèdent la propriété de fournir de la cire pendant longtemps.* Il regardait donc comme certain que les abeilles forment de la cire, c'est-à-dire une matière grasse, avec un aliment tel que le sucre. — Dumas, Boussingault et Payen reprochaient à cette expérience de Huber de ne pas faire connaître combien, sous l'influence de ce régime, les abeilles avaient perdu de leur poids ; car, suivant eux, ces insectes formeraient, en pareil cas, leur cire aux dépens de leur propre substance, c'est-à-dire aux dépens des autres matières grasses qu'ils possèdent en eux-mêmes.

Ces mêmes observateurs critiquaient aussi des résultats obtenus par Liebig, résultats qui l'avaient conduit aux mêmes idées que Huber, en ce qui concerne la transformation des hydrates de carbone en graisse. Liebig avait dit (2): « Une oie maigre, pesant 2 kilogrammes, augmente de $2^{kil.},50$ dans l'espace de trente-six jours, pendant lesquels on lui donne, pour l'engraisser, 12 kilogrammes de maïs; au bout de ce temps on peut en extraire $1^{kil.},75$ de graisse. Il est évident que la graisse ne s'est pas trouvée toute formée dans la nourriture, car celle-ci ne renferme pas $\frac{1}{100}$ de graisse ou de matières semblables. » — Dumas tirait des mêmes faits une conclusion tout opposée, attendu que, suivant lui et ses collaborateurs, le maïs contient 9 pour 100 de matière grasse, et « qu'ainsi, en mangeant 12 kilogrammes de maïs, une oie mange $1^{kil.},25$ de matières grasses. Il n'est pas étonnant, ajoute-t-il, qu'elle en puisse fournir $1^{kil.},75$, en tenant compte de celle qu'elle contenait déjà. » — Ainsi se trouvait ouvert un débat du plus haut intérêt, et qui devait bientôt profiter aux sciences physiologiques en dévoilant la vérité.

Alors en opposition avec Huber et Liebig, dont ils devaient plus tard adopter la

(1) *Nouvelles observations sur les abeilles.* Paris, 1796, in-12.
(2) *Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris*, t. XV, p. 792.

manière de voir, Dumas, Boussingault et Payen terminaient leur travail par ces conclusions qu'ils croyaient découler de leurs propres expériences :

« Le foin renferme plus de matières grasses que le lait qu'il sert à former, et il en est de même des autres régimes auxquels on soumet les vaches ou les ânesses ; — les tourteaux de graines oléagineuses augmentent la production du beurre, mais parfois le rendent plus liquide et peuvent lui donner le goût d'huile de graines, lorsque cet aliment entre en trop forte quantité dans la ration ; — le maïs jouit d'un pouvoir engraissant déterminé par l'huile abondante qu'il renferme ; — il existe la plus parfaite analogie entre la production du lait et l'engraissement des animaux, ainsi que l'avaient pressenti les éleveurs ; — la pomme de terre, la betterave, la carotte, n'engraissent qu'autant qu'on les associe à des produits renfermant des corps gras, comme les pailles, les graines des céréales, le son et les tourteaux de graines oléagineuses ; — à poids égal, le gluten mêlé de fécule, et la viande riche en graisse, produisent un engraissement qui, pour le porc, diffère dans le rapport de 1 à 2. »

Liebig (1) s'éleva aussitôt à son tour contre ces conclusions, en contestant la possibilité de la transformation de la cire en acide gras, et alléguant en outre que, dans les excréments d'une vache depuis longtemps nourrie de foin et de pommes de terre, il avait retrouvé à peu près toute la matière grasse ou cireuse contenue dans les aliments. Discutées et réfutées en partie par Dumas, ces idées furent défendues par leur auteur à l'aide de nouvelles recherches (2) où il convient de distinguer deux ordres de questions : d'une part, l'étude chimique de la transformation des corps gras et de leur production aux dépens des matières hydrocarbonées ; d'une autre part, l'étude physiologique et en même temps agricole des rapports qui se révèlent entre le poids des graisses absorbées dans l'alimentation et la quantité de graisse fixée dans le corps des animaux soumis à l'engraissement. Ce dernier ordre de question doit nous préoccuper avant tout, et d'ailleurs il prime complétement l'autre ; car il s'agit de savoir, non pas ce qui est chimiquement possible, mais ce qui se passe réellement lorsqu'un animal acquiert de la graisse.

A cette même époque, dans un mémoire sur la digestion et l'assimilation des corps gras, Bouchardat et Sandras (3) établissaient que l'huile d'amandes douces, le suif de mouton ou la graisse de porc, contenus dans les aliments, se retrouvent en nature dans le chyle ; mais que la cire, prise isolément, se retrouve presque tout entière dans les excréments, tandis qu'accompagnée d'un autre principe gras tel que l'huile, elle est beaucoup mieux absorbée. Ils ajoutaient que, du reste, quel que fût le mode d'alimentation, la quantité de graisse renfermée dans le sang ne variait que d'une manière peu sensible, mais que la nature de cette graisse était souvent en rapport avec celle du principe gras ingéré comme aliment ; que, d'autre part, l'acide stéarique, encore reconnaissable dans le sang des carnivores nourris avec du suif, s'y transforme en acide margarique, et qu'en général les corps gras passent par une série d'oxydations successives. — En résumé, ces recherches tendaient à confirmer la manière de voir défendue par Dumas, Boussingault et Payen.

Cependant Milne Edwards et Dumas (4) avaient entrepris de contrôler les expé-

(1) *Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris*, t. XVI, p. 553.
(2) *Rec. cit.*, t. XVI, p. 558, 568, 663.
(3) *Rec. cit.*, t. XVI, p. 1450, et t. XVII, p. 296.
(4) *Rec. cit.*, t. XVII, p. 531.

riences de Huber, en les complétant par l'observation des pertes de poids que subissent les abeilles pendant la durée du régime auquel on les soumet, et par l'analyse chimique des matières alimentaires et aussi des produits que donnent ces insectes. Ce contrôle sévère, dans lequel l'un des expérimentateurs apportait l'opinion nettement formulée que les animaux ne produisent pas de graisse de toutes pièces et tirent des matières grasses végétales toute la substance adipeuse qu'on trouve en eux, ce contrôle, dis-je, démontra l'exactitude parfaite des vues toutes contraires émises par Huber. Les deux savants observateurs durent reconnaître que, « sous l'influence d'une alimentation formée de *miel pur*, les abeilles produisent réellement de la cire. La belle observation d'Huber sur *la conversion du sucre en cire*, ajoutent-ils, se trouve confirmée. » — Ainsi Dumas se ralliait, sans hésiter, à l'opinion d'abord combattue par lui, alors même qu'il en reconnaissait chimiquement la possibilité. Mais Payen se refusait encore à admettre la *formation des matières grasses aux dépens des principes amyloïdes et sucrés*, formation que Thenard regardait comme extrêmement probable à tous les points de vue.

En 1845, Boussingault (1) vint aussi apporter des résultats confirmatifs qu'il avait obtenus dans l'engraissement des porcs. « Mes recherches, dit-il, paraissent établir : 1° que les porcs âgés de huit mois, après avoir été élevés au régime normal de la porcherie, contiennent *beaucoup plus de graisse qu'ils n'en ont reçu avec les aliments;* 2° que des porcs, nourris pendant six mois avec des pommes de terre, ne produisent pas plus de graisse que n'en renferment ces tubercules; 3° que dans l'engraissement des porcs, *il y a beaucoup plus de graisse assimilée qu'il ne s'en trouve dans la ration;* 4° que les aliments qui, administrés seuls, n'ont pas la faculté de développer des matières grasses, acquièrent cette faculté d'une manière étonnante aussitôt qu'on y joint de la graisse, bien que la graisse donnée seule produise l'inanition; 5° que les rations engraissantes, qui ne contiennent qu'une quantité minime de graisse, sont toujours riches en principes azotés. » — Boussingault rappelait en même temps les observations de Persoz sur l'engraissement des oies et en proclamait l'entière exactitude. Persoz avait, en effet, regardé comme un fait prouvé aussi par ses propres expériences, que « *les oies sont capables de former de la graisse sans l'intervention des matières grasses* (2), » et tous les faits constatés par lui menaient aux mêmes conclusions qui viennent d'être énoncées.

Le problème était donc résolu, et Payen à son tour se rendit à tant de preuves.

Il demeure établi que les animaux peuvent former de la graisse; que cette production exige une alimentation variée; que la présence des matières grasses dans cette alimentation est très favorable pour l'engraissement; et qu'enfin les substances hydrocarbonées (*amidon* et *sucre*) sont parfaitement aptes à se transformer en *graisse* dans l'organisme animal.

Boussingault (3) surtout a rapporté de nombreuses expériences sur l'engraissement des bêtes à cornes, des moutons, des porcs et de diverses volailles, expériences qui mettent hors de toute contestation les principes physiologiques et les assertions qui précèdent.

Une autre question, moins bien décidée, se place à côté de celle dont nous ve-

(1) *Comptes rendus de l'Académie des sciences* t. XX, p. 1728.
(2) *Comptes rendus*, t. XXI, p. 20.
(3) *Ouvr. cit.*, t. II, 2e édit.

nous de suivre les phases : *Quel rôle jouent les matières albuminoïdes ou azotées neutres dans la production de la graisse*, et convient-il d'admettre la transformation de l'albumine, de la fibrine, de la caséine, etc., en substance adipeuse ? — Dumas, Boussingault et Payen résolvaient négativement cette question dans leur premier mémoire de 1843 (1) ; mais l'échec subi par les doctrines qu'ils avaient soutenues alors ôtait presque toute sa valeur à cette première opinion. Il est encore difficile de donner aujourd'hui une solution à ce problème, et Lehmann (2) notamment considère la question comme tout à fait indécise. Si, dit-il, on n'a pas encore opéré la transformation des matières albuminoïdes en graisse par des procédés chimiques, il faut pourtant remarquer que, dans des circonstances favorables, les matières albuminoïdes se transforment en sels ammoniacaux et en acides gras volatils ; que, dans la formation de l'adipocire, la substance musculaire semble se transformer en un savon ammoniacal ; qu'enfin on constate souvent la dégénérescence adipeuse dans les muscles et d'autres tissus malades. — Voici encore d'autres faits, rapportés par Lehmann : « On a introduit, dans la cavité stomacale d'animaux vivants, des matières animales pauvres en graisses, telles que des cristallins, des blancs d'œufs ; et, après quatre ou huit semaines, ces matières avaient diminué ; mais la proportion des matières grasses avait augmenté, et celle des matières albuminoïdes était devenue plus faible..... D'autres expériences ont montré que, lorsque l'on introduit dans l'organisme des matières albuminoïdes enduites de collodion, de gutta-percha, ou enfermées dans des tubes de verre, elles ne se transforment pas en matière grasse, tandis que des substances non albumineuses, telles que des fragments d'os, du bois, de la moelle de sureau, en séjournant pendant quelque temps dans la cavité abdominale, s'imprègnent de graisse et s'entourent d'une exsudation adipeuse de couleur jaunâtre..... Quelques expériences faites sur les œufs de la limnée des étangs, pendant leur développement, semblent démontrer, durant l'évolution de l'embryon, une augmentation de graisse provenant d'une décomposition de la matière albumineuse. » — Néanmoins aucun de ces faits ne porte la conviction dans l'esprit du chimiste allemand, et ne décide à ses yeux la question générale.

Moleschott (3) ne croit pas les matières albuminoïdes susceptibles de se changer en graisses. Mais Boussingault (4), frappé de l'abondance des matières azotées dans tous les régimes capables de produire l'engraissement, professe une opinion opposée : « Il me serait facile, dit-il, de signaler plusieurs régimes engraissants dans lesquels l'albumine, la caséine, la légumine, semblent jouer le rôle de corps gras, et je ne connais pas une seule ration, employée en pratique, dans laquelle l'amidon ou le sucre soient unis à une faible proportion de ces mêmes substances. » Ce savant observateur regarde même comme incontestable « qu'*un régime suffisamment azoté*, bien que dépourvu de matières grasses, *engraisse néanmoins les animaux qui le consomment* (5). » On peut, il est vrai, rappeler en faveur de cette opinion si nettement émise, la facilité avec laquelle les matières azotées ou albuminoïdes des aliments, sous l'influence de la chaleur et des alcalis, ou bien par suite d'une altération spontanée, donnent naissance à des acides gras, tels que

(1) *Loc. cit.*
(2) *Précis de chim. physiol.*, trad. franç. de Ch. Drion, p. 311.
(3) *De l'alimentation et du régime*, trad. franç. de F. Flocon, p. 91 et passim.
(4) *Economie rurale*, 2e édit., t. II, p. 617.
(5) *Ibid.*, p. 616.

l'acide butyrique et l'acide valérianique ou valérique (1). Ces faits ont été vérifiés, depuis, sur l'albumine du maïs, par Boussingault qui, en effet, assure que « tous les faits recueillis sur l'engraissement des animaux *paraissent* s'accorder pour assigner aux substances alimentaires azotées la faculté de développer de la graisse. »

Toutefois, dans notre opinion, la question ne saurait encore être considérée comme entièrement résolue. Jusqu'à présent, la transformation des matières azotées en graisses ne peut que paraître vraisemblable ; elle attend de nouvelles preuves pour prendre rang parmi les faits démontrés et définitivement acquis à la science.

IV. — Nous avons eu déjà occasion d'étudier certains principes inorganiques essentiels à la *nutrition*, notamment le chlorure de sodium ou sel marin, le phosphate de chaux et l'oxyde de fer (*), auxquels leur importance reconnue a fait donner le nom d'*aliments minéraux*. Nous avons dû, dans cette étude, signaler les effets physiologiques qui peuvent être rapportés à leur usage, et les troubles ou les altérations qui surviennent après que cet usage a été suspendu.

Parmi les principes inorganiques faisant partie de la constitution des animaux, les uns, comme le *phosphate de chaux*, le *phosphate de magnésie*, le *bicarbonate de chaux*, le *fluorure de calcium* et l'*acide silicique*, ont plus spécialement la mission de se déposer dans les tissus solides, contribuant ainsi à leur donner de la résistance et de la rigidité ; les autres, comme le *chlorure de sodium*, le *carbonate de soude*, les *phosphates alcalins*, l'*acide chlorhydrique* et l'*oxyde de fer*, sont les principes nécessaires et constants de plusieurs liquides animaux, ou bien des dissolvants de certaines substances organiques, des médiateurs indispensables de diverses transformations qui se passent au sein de l'économie animale (**).

Comme le fait observer Lehmann, nos connaissances relatives aux substances minérales de l'économie et surtout aux combinaisons qu'elles forment, sont loin d'être en rapport avec l'état avancé de l'analyse chimique. Dire comment certains sels minéraux sont indispensables à la nutrition, pourquoi leur présence influe essentiellement sur la valeur nutritive des aliments proprement dits, est chose encore à peu près impossible.

Pour le *chlorure de sodium* (sel marin) en particulier, sans cesse introduit dans le sang et mêlé à l'albumine, il concourrait avec elle à prévenir la dissolution des globules sanguins, favorisant au contraire la dissolution de certains éléments organiques et la métamorphose de quelques autres en présence de l'oxygène. C'est ainsi que l'albumine devrait en partie sa solubilité dans les humeurs au sel marin, qui dissout également la caséine ; de plus, ce même sel forme avec la glycose une combinaison définie et cristalline, et il paraît se comporter d'une manière analogue avec l'urée : aussi, dans l'économie animale, ces deux produits sont-ils généralement accompagnés d'une certaine quantité de chlorure de sodium. De là l'hypothèse que ce sel doit contribuer, jusqu'à un certain point, aux transforma-

(1) A. Wurtz. *Sur la transformation de la fibrine en acide butyrique* (*Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris*, 1844, t. XVIII, p. 704).

(*) Voir ci-dessus, p. 76 et suiv.

(**) Il est encore d'autres substances minérales que l'on rencontre fortuitement dans l'organisme et quelques-unes qui ne sont que des résultats de transformations accomplies par lui-même : tels sont le cuivre, l'arsenic, le plomb, le manganèse, puis les sulfates alcalins, les sels ammoniacaux et le carbonate de magnésie.

tions du sucre, à la production et à l'élimination de l'urée. — Le chlorure de sodium, d'après Liebig (1), convertirait en phosphate de soude une partie du phosphate de potasse, que les aliments et la résorption opérée dans les muscles introduisent dans le sang. Suivant le même auteur (2), le sel dont il s'agit, à cause de la constance de ses proportions dans le sang, contribuerait puissamment à des actes physiques d'endosmose et d'exosmose, c'est-à-dire à l'absorption à travers les membranes. — Enfin, parmi les diverses hypothèses qui ont été émises sur le mode d'action du chlorure de sodium au sein de l'organisme, il faut encore mentionner l'influence qu'on lui accorde sur la constitution de la bile et d'autres liquides alcalins auxquels, par sa soude, il donnerait leur alcalinité, et aussi sur la composition du suc gastrique auquel il fournirait l'acide chlorhydrique.

Quant au *phosphate de soude*, on lui attribue la propriété de faciliter singulièrement l'absorption de l'acide carbonique par le sang veineux, et consécutivement l'élimination de cet acide hors de l'organisme.

Le *phosphate de chaux*, comme le chlorure de sodium, est si généralement répandu dans l'économie animale, qu'il n'est aucun tissu, aucun liquide qui, après incinération, n'en donne une quantité plus ou moins notable. — Si l'on sait qu'il forme une grande partie de la masse des os (*), on ne doit pas non plus ignorer que les trois matières albuminoïdes fondamentales ou protéiques (albumine, fibrine, caséine) donnent aussi à la combustion des quantités variables de cendres dans lesquelles le phosphate de chaux ne manque jamais. On regarde d'ailleurs comme très probable que sa présence est la cause déterminante de certaines métamorphoses que ces matières subissent durant la vie. — C'est à l'aide de l'acide carbonique du sang que le phosphate de chaux devient sensiblement soluble dans ce liquide ; les bicarbonates alcalins et le chlorure de sodium contribuent aussi à en dissoudre une partie.

Le rôle du phosphate de chaux, dans l'organisme, ne paraît pas se borner seulement à *nourrir* le système osseux. Dans les expériences de Chossat (3), la privation prolongée de matière calcaire, chez des pigeons, a fini par rendre leurs os tellement minces que, même pendant la vie, ils se fracturaient avec la plus grande facilité. Le travail de désassimilation des matières calcaires se continue donc dans la substance des os, quand bien même le travail inverse ou d'assimilation y est devenu impossible, faute de leur concours. Cette résorption, de la part du reste de l'économie, a conduit à l'idée que, si ces matériaux inorganiques contribuent à la solidité du tissu osseux, ils pourraient bien aussi avoir quelque autre usage et un rapport plus direct avec la nutrition en général. En effet, Chossat (4), ayant nourri plusieurs pigeons uniquement avec du blé, dans les cendres duquel, comme on le sait, il entre beaucoup de phosphate de magnésie, des sels de potasse et fort peu de chaux ; et, de plus, ayant pris le soin d'empêcher

(1) *Nouvelles lettres sur la chimie*. Paris, 1852, p. 191.
(2) *Lettres citées*, p. 188.

(*) L'analyse des os de bœuf a donné 57,35 pour 100 de *phosphate de chaux* (avec traces de fluate calcaire), et seulement 3,85 de *carbonate de chaux* : ce sont là les seuls sels calcaires qui se rencontrent dans le système osseux. (BERZELIUS, *Traité de chimie*, trad. franç. Paris, 1833, p. 474.)

(3) *Comptes rendus de l'Acad. des sc. de Paris*, t. XIV, p. 451. — *Rech. expérim. sur l'inanition*. Paris, 1844.
(4) *Loc. cit.*

ces animaux de joindre, comme c'est leur coutume, une certaine quantité de matière calcaire à celle qui se trouve naturellement dans leur nourriture habituelle, Chossat, disons-nous, vit d'abord ses pigeons engraisser, puis, au bout de huit à dix semaines, commencer à maigrir, pour succomber enfin entre le huitième et le dixième mois, à la suite d'une diarrhée que cet observateur attribue à l'insuffisance de principes calcaires, notamment du phosphate de chaux.

Le *fer* a été considéré comme un aliment minéral de premier ordre, surtout parce qu'il concourt à la production de l'élément organique par excellence, du globule sanguin. L'absence ou la quantité trop minime de ce principe minéral, comme l'a démontré l'observation clinique, amène les désordres les plus graves dans la santé : ses usages doivent, en effet, être des plus importants, puisqu'on le découvre aussi jusque dans les cendres du lait et de l'œuf. Mais, jusqu'à présent, ils sont loin d'avoir été expliqués, et, à leur sujet, la science ne possède guère que des données hypothétiques. Beaucoup de physiologistes admettent aujourd'hui comme probable que l'oxygène du sang se trouve contenu *surtout* dans les globules, et qu'il y est même combiné plus spécialement avec leur *hématosine* ou matière colorante. Or, l'hématosine renferme normalement une grande proportion de *fer* (environ 7 pour 100 de son poids) qu'on obtient à l'état d'*oxyde*, par incinération de la précédente substance. On a supposé que ce métal existe à l'état de protoxyde dans le sang veineux et à l'état de peroxyde dans le sang artériel : les changements que le sang éprouverait dans les poumons seraient l'effet d'une *suroxydation*, et ceux qu'il subirait dans la circulation générale, notamment dans les capillaires, seraient l'effet d'une *réduction*. L'acide carbonique ne serait pas seulement charrié avec le protoxyde de fer du sang veineux, mais combiné avec lui, de sorte que les deux gaz (oxygène et acide carbonique) qui, par leurs proportions relatives différentes, caractérisent tour à tour les deux espèces de sangs, parcourraient le système vasculaire à l'état de combinaison et non de simple dissolution. — Hâtons-nous de reconnaître que ces vues, d'ailleurs ingénieuses, et qui seraient propres à donner une idée de l'importance du rôle du fer dans l'organisme, sont encore dépourvues de preuves suffisantes.

Quant à l'*eau*, sa présence est indispensable à tout ce qui est vivant et organisé; en effet, peu de phénomènes s'accomplissent dans la nature vivante sans son intervention, et l'on peut dire que l'eau résume en elle seule une grande partie des conditions de la vie. C'est elle qui maintient le sang dans l'état de fluidité indispensable à la circulation et les différents tissus dans l'état de mollesse ou de souplesse nécessité par leurs usages; c'est elle aussi qui dissout et met en présence les matières devant réagir les unes sur les autres. L'eau constitue la plus grande partie de la masse du sang, puisqu'elle représente près des quatre cinquièmes du poids total de ce liquide, et que souvent même elle s'y trouve en proportion plus considérable. Il importe de savoir que non-seulement dans le plasma elle tient en dissolution tous les matériaux solubles du sang, mais que de plus, infiltrant la substance des globules, elle entre dans leur constitution. La proportion d'eau renfermée dans ces corpuscules a été évaluée à 68 ou 69 pour 100 de leur volume (1). — Il est utile de rappeler ici que les sels calcaires, ferriques et alcalins, si nécessaires à l'entretien de la vie, sont loin de provenir exclusivement de la nour-

(1) SCHMIDT (de Dorpat), *Charakteristik der epid. Cholera*, 1850.

riture solide ; qu'au contraire l'eau ingérée par les animaux en fournit aussi une quantité notable qu'on ne saurait négliger quand on cherche à apprécier dans leur ensemble les matériaux de la nutrition. Boussingault (1), dans une expérience faite sur une vache laitière, a constaté que les substances minérales prises à l'*abreuvoir* s'élevaient jusqu'à 50 grammes par jour, et il résulte d'un curieux calcul du même auteur (2) qu'en abreuvant 100 têtes de bétail avec certaines eaux potables, on peut, dans une exploitation rurale, faire arriver ainsi, chaque année, au fumier 7 à 800 kilogrammes de substances salines éminemment utiles à la végétation, puisqu'il s'y trouve du phosphore, du soufre, du chlore, de la silice et des alcalis. L'eau n'entre donc pas seulement dans la constitution des animaux ou des plantes comme simple liquide retenu dans les mailles de leurs tissus ; elle favorise encore, à cause des substances salines ou des matières qu'elle renferme, le développement ou l'entretien de l'être organisé à la manière d'engrais ou d'aliment. — Seule, parmi les liquides, l'eau peut dissoudre toutes sortes de gaz ; à cette propriété se rattache l'existence de tout ce qui est vivant et organisé : pas de respiration possible pour les animaux aquatiques, si l'eau ne tenait en dissolution de l'oxygène ; ni pour les animaux terrestres, si leurs voies respiratoires n'étaient suffisamment humides ; ni pour les plantes, qui empruntent principalement un de leurs éléments à l'acide carbonique, si l'eau ne servait pas d'intermédiaire.

Pour les êtres organisés en général, l'eau est tellement importante, qu'on ne saurait les concevoir dépourvus de ce fluide. Il est des animaux qui *ressuscitent* dans l'eau, après être restés pendant fort longtemps dans un état de dessiccation complète (*). Ce liquide semble entrer en proportion définie dans la composition de ces êtres ; il leur en faut une quantité pour ainsi dire déterminée, pour qu'ils jouissent de la vie. Certains tissus, comme l'a prouvé Chevreul (3), sont dans le même cas ; en perdant l'eau qu'ils contenaient, ou bien en en prenant plus qu'il n'est convenable, ils perdent leur propriété particulière : tels sont le tissu jaune élastique, la cornée transparente, etc.

V. — Ce n'est pas tout que d'avoir déterminé le rôle spécial et l'importance relative de chacun des groupes de principes alimentaires d'origine organique ou inorganique, dans les actes intimes d'assimilation et de combustion nutritive ou respiratoire, il faut encore connaître les conditions d'associations ou les proportions de chacun de ces groupes les plus avantageuses pour entretenir régulièrement la nutrition et la vie. — Or, dans les idées générales qu'il a émises sur l'alimentation, W. Prout fait observer que le lait, durant une certaine période, est la nourriture exclusive de l'homme et des mammifères, et qu'il suffit au développement de l'organisme. C'est ainsi que l'habile chimiste anglais a été amené à

(1) *Traité d'économie rurale*, 2e édit., t. II, p. 351.
(2) *Ouvr. cit.*, t. II, p. 142.

(*) Ce fait, déjà constaté par SPALLANZANI, a été définitivement établi par les recherches de DOYÈRE (*Mém. sur l'organisation et les rapports naturels des tardigrades* (vers), *et sur la propriété remarquable qu'ils possèdent de revenir à la vie après avoir été complétement desséchés*, Paris, 1842). — A propos de la controverse qui s'est élevée récemment à ce sujet, entre DOYÈRE et POUCHET, consultez surtout l'intéressant travail de GAVARRET, intitulé : *Nouvelles expériences sur les rotifères, les tardigrades et les anguillules des mousses des toits* (*Journal du progrès*, t. IV, p. 421, et t. V, p. 1).

(3) *De l'influence que l'eau exerce sur les substances azotées solides* (*Ann. de chimie et de physique*, t. XIX, p. 41).

regarder le lait comme l'aliment type ou normal, et à établir que tout régime alimentaire doit participer plus ou moins de sa constitution ; c'est-à-dire qu'indépendamment des phosphates, des chlorures et autres sels inorganiques, l'aliment complet doit réunir une substance azotée, un principe non azoté (corps gras ou sucré) pour équivaloir au caséum, au sucre, au beurre du lait. Conséquemment, si l'on voulait déterminer, à peu près, dans quelles proportions relatives devraient se trouver les précédents principes nutritifs dans un régime alimentaire destiné à remplacer immédiatement l'allaitement, on ne saurait mieux faire que de s'en rapporter à la constitution de la nourriture fournie à l'enfant par la nature elle-même, c'est-à-dire à la constitution du lait de femme. — Alors, suivant Lehmann (1), la proportion la plus favorable de ces principes, dans l'aliment nouveau, serait la suivante : matières plastiques, 10 ; matières grasses, 10 ; sucre, 20 ; sels inorganiques, 0,6.

Mais, d'après la remarque du même auteur, « en cherchant à déterminer les proportions les plus avantageuses des principes nutritifs, il ne faut pas s'imaginer que ces proportions doivent rester les mêmes dans toutes les circonstances ; elles varient, au contraire, avec l'état de l'organisme. De même que les besoins de l'économie n'exigent pas toujours la même quantité absolue de nourriture, de même ils ne réclament pas non plus toujours les mêmes proportions des divers principes nutritifs. L'examen du lait prouve, en effet, que sa composition se modifie sans cesse avec la croissance de l'enfant : le rapport des principes offerts au nouveau-né est constant, mais il est tout différent du rapport des mêmes principes contenus dans le lait destiné au jeune animal qui respire depuis un certain temps avec ses poumons. D'une espèce à l'autre, ces rapports changent considérablement : bien qu'ils dépendent en partie du régime alimentaire de la mère, ils n'en restent pas moins constants, dans une même espèce, lorsque le jeune animal se trouve dans les mêmes conditions. »

Nul doute que la prospérité de l'organisme ne dépende des proportions suivant lesquelles sont mélangés les divers principes alimentaires, et qu'une prédominance ou une diminution trop sensible des uns ou des autres n'entrave la marche régulière de la nutrition. Boussingault (2) a démontré que les betteraves ou les pommes de terre, administrées à discrétion, sont insuffisantes pour nourrir convenablement les vaches laitières : cet investigateur s'est assuré, à l'aide de consciencieuses analyses, que dans la nourriture reçue il y avait assez de sucre et d'amidon, assez de matières azotées, assez de substances salines, pour suffire à la production de la chaleur animale et pour réparer toutes les pertes occasionnées par les sécrétions, mais qu'il y avait une quantité fort insuffisante de principes gras ; nouvelle preuve que, dans les aliments, les hydrates de carbone (amidon et sucre) ne sauraient entièrement remplacer les matières grasses. Les recherches du même auteur et celles de Letellier (3) établissent encore qu'une substance alimentaire, dût-elle être très riche en ces matières, est néanmoins impropre à l'engraissement, si elle ne renferme pas une proportion suffisante de matière nutritive azotée.

Malgré les déterminations assez nombreuses qui ont été faites du rapport existant entre les principes plastiques et les principes non azotés contenus dans divers aliments regardés comme complets, le problème dont il s'agit sur les proportions

(1) *Précis de chimie physiol.*, trad. franç., p. 370. Paris, 1855.
(2) *Mémoires de chimie agricole et de physiologie*, p. 63. Paris, 1854.
(3) *Mém. cit.* de Boussingault, p. 105, 123 et suiv.

les plus avantageuses qui doivent exister entre les différents principes alimentaires n'a reçu, jusqu'à présent, qu'une solution approximative.

Quant à la question de savoir si l'usage exclusif de *principes non azotés*, puisés dans le règne végétal ou animal (sucre, amidon, gomme, beurre), ou bien si les *principes immédiats azotés*, provenant de l'un ou de l'autre règne (albumine, fibrine, caséine, glutine, etc.), *seuls ou mélangés entre eux*, peuvent suffire à l'entretien de la nutrition et de la vie des animaux, on sait que cette double question a été résolue expérimentalement par la négative (*).

VI. — Tout ce qui a été dit, dans les pages précédentes, touchant l'emploi ou le rôle des aliments et des boissons dans la nutrition, contribue à démontrer que l'existence des animaux ne se maintient qu'à la condition d'un travail moléculaire incessant, accompli aux dépens de matériaux plus ou moins complexes qui, en général, se métamorphosent et se détruisent par des phénomènes analogues à la combustion ; les animaux, dans ce but, empruntent à l'air son oxygène. De ce travail intime, et de la dépense qu'il entraîne avec lui, résulte la nécessité d'une réparation continuelle, indispensable à l'intégrité et à la permanence des organes. Un problème des plus intéressants se présente donc à résoudre : Quelle est, dans un temps donné, la *quantité de principes nutritifs* que réclame, pour s'entretenir, le corps de l'homme, par exemple ?

On sait qu'un animal adulte, soumis à la ration d'entretien, ou un homme arrivé au terme de sa croissance et nourri avec une grande régularité, peut conserver le même poids moyen, et rendre, dans les différents produits résultant de l'action organique (fèces, urine, sueur; exhalation pulmonaire, etc.), une quantité de matière précisément égale à celle qu'il reçoit par ses aliments. Pourtant il y a là *assimilation*, en ce sens que la matière élémentaire des aliments se fixe dans l'organisme, en s'y modifiant, pour se substituer à celle que le mouvement de désassimilation expulse journellement. — Ainsi, en pareils cas, la réparation se subordonne à la déperdition.

Mais la déperdition étant modifiée par l'âge, le sexe, la constitution, la taille, les habitudes, la profession, la saison, le climat, par un grand nombre de circonstances physiologiques qui modifient la combustion nutritive elle-même, la réparation ou l'ingestion d'aliments doit varier à son tour ; ce qui prouve que, sous le rapport des quantités, on ne saurait établir ici que des *moyennes générales* en ce qui concerne l'homme. Et, d'ailleurs, en supputant le poids total des matières rejetées, et le comparant au poids des substances ingérées, pour déterminer la quantité absolue de nourriture réclamée par l'organisme, est-on bien sûr que les besoins de la nutrition soient réellement et toujours proportionnés aux pertes observées ?

Quoi qu'il en soit, nous admettrons, avec Lecanu (1) et Dumas (2), comme moyenne des pertes faites en vingt-quatre heures par les voies urinaires, 32 grammes d'urée = 15 grammes d'azote, auxquels, avec Payen (3), nous ajouterons 5 autres grammes environ du même gaz, provenant des produits expulsés

(*) Voir ci-dessus, page 81.

(1) *Mémoires de l'Académie de médecine*. Paris, 1840, t. VIII, p. 676.
(2) *Chimie physiol. et médicale*, p. 423. Paris, 1846.
(3) *Traité des substances alimentaires*, p. 345 et suiv. Paris, 1853.

par les voies pulmonaire, cutanée et digestive : c'est donc par jour une perte totale d'à peu près 20 grammes d'azote.

Quant à la quantité de carbone exhalé journellement par la respiration (250 gr.), ou entraîné dans les déjections liquides et solides (60 gram.), ce dernier auteur l'évalue à 310 grammes (*).

Ainsi, pour entretenir la vie et les forces d'un homme adonné aux travaux du corps, il faut que les aliments pris en vingt-quatre heures contiennent 310 grammes de carbone, plus 130 grammes de substance azotée renfermant 20 grammes d'azote. Or, pour ce qui concerne la détermination de la *ration normale* de l'homme, il est remarquable que la science, d'une part, l'expérience journalière, de l'autre, ont donné des solutions ou plutôt se sont rencontrées dans une seule et même solution que nous sommes fondé à regarder ici comme suffisamment approchée. En effet, Payen (1) propose comme ration normale *mixte* et propre à concilier les nécessités d'une bonne alimentation avec celles de l'économie :

			Substance azotée.	Carbone.
Pain.....	1000 gram.	=	70 gram.	300 gram.
Viande.....	286	=	60,26	31,46
	1286	=	130,26	331,46

Et l'on sait que, depuis longtemps, la ration réglementaire du soldat français est ainsi fixée : viande, 285 grammes ; pain de munition, 750 grammes, et pain blanc pour la soupe 316 grammes ; carottes et autres légumes, 200 grammes. Évidemment on ne pouvait souhaiter plus d'accord entre la théorie et la pratique.

Quant à la quantité d'*eau* qui, sous la forme liquide, doit être introduite dans le corps humain en vingt-quatre heures, elle varie considérablement suivant les individus, suivant les âges, les circonstances extérieures, etc. On ne peut rien établir de général à cet égard ; il faut tantôt plus, tantôt moins d'eau, selon que les aliments ingérés en contiennent eux-mêmes plus ou moins. Toutefois, que ce liquide soit pris isolément ou mélangé avec les aliments, sa proportion est évaluée à environ 1 kilogramme par jour, qui est aussi à peu près la quantité expulsée dans le même temps par les reins, la peau et le poumon.

VII. — Nous avons dû nous écarter, un moment, de l'étude des *actes intimes de la nutrition* pour dire quelles proportions relatives entre les aliments azotés et les aliments non azotés, et aussi quelle quantité moyenne des uns et des autres sont nécessaires à l'entretien régulier des fonctions animales. Mais nous rentrons dans la précédente étude en rappelant tout d'abord que le *sang* est le milieu dans lequel s'accomplissent les phénomènes essentiels de la nutrition. Ce fluide, qui, d'une part, emprunte aux voies digestives des substances déjà élaborées, et au milieu ambiant, de l'*oxygène*, agent nécessaire de toutes les réactions physico-chimiques de l'économie, et qui, d'autre part, reçoit les produits ultimes des métamorphoses de la nutrition, représente en effet un liquide à la fois réparateur et épurateur, sans cesse renouvelé d'un côté à mesure qu'il est détruit de l'autre. Le sang est donc l'intermédiaire où aboutit et ce qui va être employé et ce qui a été employé : si, d'un côté, il porte par mille canaux la nourriture à tous les

(*) Au lieu de 300 grammes admis par DUMAS, *loc. cit.*

(1) *Loc. cit.*

organes, se transformant par une chimie spéciale en tissus et en humeurs, d'un autre côté, à mesure que les particules organiques sont décomposées et fluidifiées, elles rentrent dans le grand courant sanguin qui les emporte. « Ainsi, dit E. Littré, se fait et se défait cette toile de Pénélope, trame toujours sur le métier et ne subsistant qu'à la condition d'avoir ses fils incessamment renouvelés. »

Puisque les particules qui sont entrées dans le corps, au lieu de continuer à garder leurs propriétés (cas dans lequel l'animal, une fois adulte, aurait pu se clore et s'entretenir de sa propre substance), puisque ces particules, après avoir vécu un certain temps, perdent toute aptitude à vivre ultérieurement, il faut que le liquide nourricier en soit débarrassé par quelques-unes des voies qui sont ouvertes au dehors ; et dès lors cette soustraction incessante amène la nécessité d'une réparation non moins continue.

Or, dans ce travail moléculaire, qui se fait dans le sang d'abord et de la part de l'oxygène qui y est contenu, puis dans les tissus eux-mêmes aux dépens de ce gaz exhalé avec le plasma, comment se comporte l'élément organique par excellence, le *globule sanguin?* Parce qu'il ne sort pas du système circulatoire où il se forme et se détruit sur place, est-ce donc à dire qu'il ne prenne point une part essentielle aux actes les plus intimes de la nutrition ?

Et d'abord, il est un fait généralement admis, c'est que l'oxygène introduit dans le sang par les voies respiratoires se fixe de préférence sur les globules sanguins ; puis on sait encore combien la nutrition générale est influencée d'une manière fâcheuse par suite de leur augmentation en nombre ou de leur diminution. Nul doute aussi que les globules rouges du sang, qu'on regarde comme les parties vivantes de ce fluide, ne disparaissent et ne se détruisent sans cesse, pour se réparer et se reproduire, au fur et à mesure de leur destruction, aux dépens des matières organiques dissoutes dans le plasma sanguin : le chyle et la lymphe sont les deux fluides qui ont pour usage commun de contribuer à la rénovation du sang. De nouveaux globules se forment continuellement dans le plasma du sang de tous les organes, puis, après avoir subi plusieurs phases de développement, avoir vécu un certain temps, ils se dissolvent d'eux-mêmes, ou bien crèvent en laissant échapper leur contenu, qui retourne ainsi dans le plasma du sang où ces corpuscules s'étaient d'abord développés. Or, avons-nous dit, l'oxygène, agent de toutes les réactions physico-chimiques de l'économie, se fixe de préférence sur les globules sanguins ; il se pourrait donc que leur disparition ou leur dissolution incessante eût surtout pour objet de restituer au plasma des matériaux métamorphosés et *perfectionnés* qui, s'échappant bientôt au travers des parois vasculaires, auraient une aptitude immédiate à être utilisés par la nutrition. On sait d'ailleurs que dans la composition de ces globules figurent des matières protéiques ou albuminoïdes, une quantité assez notable de matières grasses phosphorées et divers sels inorganiques (*), c'est-à-dire des éléments qui peuvent contribuer à remplacer, soit dans les humeurs, soit dans les tissus, les matériaux azotés ou autres devenus impropres à la vie.

Mais si, d'une part, pour entretenir le plasma et les globules dans leur constitution normale, il faut l'abord simultané et incessant de l'air et de principes nutritifs

(*) La quantité de matières grasses s'élève, dans les globules humides, de 0,2 à 3,0 pour 100. Quant aux sels inorganiques, les phosphates et les sels de potasse existent en proportions bien plus considérables que les chlorures et les sels de soude, qui, au contraire, abondent dans le sérum (LEHMANN, SCHMIDT). — On sait qu'il en est de même pour le tissu musculaire.

immédiats élaborés par la digestion, il faut aussi, d'autre part, pour atteindre ce but, l'élimination continuelle de certains matériaux du sang. Parmi ces matériaux, il en est qui, introduits dans l'organisme, sont ou superflus ou incapables de servir : comme l'eau qui s'échappe par l'exhalation pulmonaire, par la sueur ou par l'urine, et comme certains principes minéraux, mêlés à la nourriture, qui s'en vont plus spécialement par les reins. Mais, ainsi que nous l'avons vu, il est aussi dans le sang d'autres matériaux qui, développés par le travail intime et moléculaire de l'organisme lui-même, ne sauraient y séjourner sans donner lieu à des accidents, comme l'urée, les acides urique et hippurique, produits azotés expulsés par les reins, ou comme les acides sudorique, cholique et choléique, autres produits azotés que chassent la peau et le foie, enfin l'acide carbonique qu'exhalent surtout les poumons. — Partant de ce principe que des composés fixes et définitifs, comme l'urée et l'acide urique, par exemple, ne sauraient être le produit du plasma qui varie dans sa constitution avec les modes d'existence et le genre de nourriture, on a supposé que ces produits devaient provenir des globules qui, bien que différents dans leurs formes, offrent une grande analogie, sinon une identité de composition, dans le sang de tous les animaux supérieurs. L'urée, ou une substance azotée représentée par ce composé, séparée du sang par les reins, serait donc, suivant cette hypothèse, une *excrétion* des globules dans le plasma.

Quoi qu'il en soit, grâce à un travail d'assimilation et de désassimilation si admirablement compensé, on arrive à comprendre que, plasma et globules, qui ont d'ailleurs une composition jusqu'à un certain point solidaire, puissent maintenir cette composition, malgré ses variations, dans des limites compatibles avec l'entretien de la vie et de la santé.

VIII. — Pour passer en revue toute la série des actes nutritifs, il reste à se rendre compte de la production ou de l'entretien des tissus animaux, et aussi de la régénération que présentent plusieurs d'entre eux. Cette importante question ne saurait être traitée en ce moment au point de vue morphologique ; c'est en traçant l'histoire du développement des tissus qu'il y aura lieu de l'envisager ainsi. Mais, dans l'étude de la nutrition, elle se pose en quelque sorte d'une façon plus générale et plus élevée. Comment se forme un tissu vivant, aux dépens de la matière alimentaire ; quels sont les principes nourriciers qui y prennent part et par quelle série de métamorphoses ces principes se transforment-ils en la substance même d'un organe vivant et fonctionnant? tel est le problème, encore à peine abordable dans l'état actuel de la science, que le physiologiste rencontre devant lui au dernier terme de l'histoire générale de la nutrition.

Aussi, à propos de ce problème, resté insoluble jusqu'à présent, n'avons-nous d'autre but que d'exposer les premiers éléments d'une solution réservée à l'avenir.

Il importe, avant tout, de se faire une idée bien nette de ce qui constitue un tissu animal dans ses conditions physiologiques. On y trouve comme partie essentielle une trame solide, à formes définies, qui souvent a été regardée comme constituant à elle seule chaque tissu, parce qu'elle en est la partie la plus durable et la plus caractéristique. C'est d'elle qu'il est vrai de dire que tout tissu animal se compose essentiellement de matière azotée; c'est elle que l'anatomiste analyse et décrit avec le secours du scalpel et du microscope; c'est elle aussi qui a été étudiée presque exclusivement dans les recherches histologiques. Mais le physiologiste ne

urait y voir tout le tissu tel qu'il existe lorsque la vie l'anime et le met en jeu ; l, en un mot, que la nutrition le produit et l'entretient. Cette trame, de nature otée et dont la substance dérive toujours des principes protéiques, ne saurait présenter le tissu complet qu'à la condition qu'on y ajoute les fluides organiques nt elle est constamment imprégnée durant la vie. Les tissus les plus solidifiés, les et les dents, montrent eux-mêmes cette imbibition profonde de leur tissu solide r des fluides qui ne leur font jamais défaut à l'état physiologique. Mais, le fait t bien autrement manifeste, si l'on considère les tissus, si répandus dans l'organe, qui doivent posséder cette souplesse, cette flexibilité et cette élasticité toute rticulière des membranes, de la chair musculaire, etc.; souplesse et flexibilité e l'industrie humaine serait si désireuse d'introduire dans plus d'un rouage de s machines et que jusqu'à présent elle n'a pu imiter en rien. N'est-il pas évident, prenant pour exemple un des tissus les plus abondants de l'économie, que la re musculaire, isolée avec soin et privée des divers fluides qui la pénètrent bituellement, ne représente pas le tissu des muscles, mais seulement un de ses éments les plus importants ?

On ne saurait laisser de côté de pareilles notions sans s'exposer à des interprétions erronées dans l'étude de l'assimilation nutritive. En effet, on pose voloners comme un axiome, que les tissus étant formés de substance azotée, les maères albumino-fibrineuses peuvent *seules* être employées à les produire ou à les parer. Cette proposition consacrerait une erreur, si on lui laissait un sens absolu ; le ne saurait être considérée comme exacte qu'en l'appliquant exclusivement à la rame solide des tissus, abstraction faite des fluides surajoutés qui peuvent être de nture azotée ou non azotée. C'est ainsi que la chair musculaire, par exemple, est ssentiellement constituée par la *musculine* ou *syntonine*, substance azotée très isine de la fibrine du sang avec laquelle on l'a longtemps confondue. Les fibrilles rmées de musculine sont enveloppées d'un *sarcolemme* dont la substance se rapproche, selon Lehmann (1), de celle du tissu élastique et est encore de nature otée. Mais ces éléments solides, et à formes définies, du tissu musculaire, sont mprégnés d'un liquide dans lequel on a reconnu, à côté de matières azotées, omme la *créatine*, la *créatinine*, la *caséine*, l'*albumine*, l'*acide inosique*, etc., l'autres matières non azotées, telles que l'*acide lactique*, un des produits de transformation du principe sucré, l'*inosite*, matière saccharine elle-même, la *dextrine* Sanson), et enfin plusieurs acides gras. Si l'on ajoute à cela de l'*eau*, et des *substances minérales* que fournissent les cendres de la chair musculaire, on sera appé de ce fait que le tissu des muscles, quand il se présente avec toutes ses conitions normales, renferme les divers principes que doit contenir aussi tout aliment complet. — Le même résultat se révélerait si l'on étudiait à ce point de ue les principaux tissus. — En ce qui concerne la présence des principes hydrocarnés, nous avons précédemment fait observer que la matière amyloïde animale *amyline*) est si rapidement employée par la combustion nutritive, qu'elle ne 'accumule qu'exceptionnellement dans les tissus (*).

Il résulte de ces considérations, que les aliments, nommés *plastiques* par Liebig, nt en effet le privilége exclusif de nourrir la trame solide des tissus ; mais que les utres substances qui figurent dans une alimentation complète chez les animaux

(1) *Précis de chimie physiologique*, traduction de Ch. Drion, p. 273. Paris, 1855.

(*) Voir ci-dessus, page 1044.

supérieurs, viennent achever la nutrition de ces mêmes tissus, en apportant aux fluides qui les pénètrent des matières grasses, des matières amyloïdes, de l'eau, des principes minéraux, dont ils ne sauraient être longtemps privés sans subir des modifications profondes de leurs propriétés. Les matières grasses, et notamment les hydrates de carbone fournissent les combustibles nécessaires à la production de la chaleur animale, puis l'alimentation les remplace au fur et à mesure de leur consommation si rapide.

Le *mode de nutrition des divers tissus* n'est pas toujours le même, et il importe de distinguer à cet égard les tissus que parcourent les vaisseaux sanguins capillaires de ceux où ces mêmes vaisseaux ne paraissent pas exister. Des recherches, chaque jour plus précises, viennent de plus en plus restreindre le nombre de ces derniers tissus : toutefois, jusqu'à présent, on n'a reconnu aucun vaisseau sanguin dans les tissus épidermoïdes (épiderme, épithélium, ongles, poils, corne, etc.); le tissu solide des dents n'en contient pas non plus, et peut-être la substance du cristallin est-elle dans le même cas.

Ce corps lenticulaire, de nature albumineuse, est contenu dans une membrane ou matrice, riche en vaisseaux sanguins, qui paraît produire la substance de cette humeur de l'œil. G. Valentin (1) a reconnu, chez un embryon, que les fibres du cristallin sont formées par des rangées linéaires de globules qui se confondent peu à peu, de manière à former une fibre continue ; Schwann et E. H. Weber ont fait des observations analogues : de telle sorte que l'enveloppe cristalline produirait une matière plastique et organisable en cellules d'où résulterait la substance fibrillaire du cristallin. Les couches les plus nouvelles de cette substance se trouvent à la périphérie de la lentille, tandis que les plus anciennes en occupent le centre.

Les parties épidermoïdes paraissent se constituer à l'aide d'un mécanisme analogue; le derme est leur membrane génératrice. Très vasculaire, cette membrane laisse exsuder par sa face libre une matière plastique qui s'organise en cellules, contenant un noyau ; puis ces cellules s'aplatissent ou s'allongent en perdant leur contenu fluide, pour former des lamelles ou des fibres cornées. Ici encore la matière plastique, exsudée, qui se montre susceptible de cette transformation morphologique et organique, est de nature azotée.

Quant à la matière dure des dents, elle paraît résulter d'une sorte d'ossification progressive du germe : ainsi l'ont pensé Schwann, R. Owen, J. Müller, Duvernoy, etc. Son mode de formation et de nutrition, analogue à celui du tissu osseux lui-même, ne saurait être assimilé à celui que présentent le cristallin et les tissus épidermoïdes.

Tous les autres tissus de l'organisme, même le tissu osseux, sont pourvus de vaisseaux sanguins capillaires qui y font circuler le sang à un état de division extrême et dont les parois sont d'une merveilleuse ténuité. A travers ces fines parois, l'endosmose établit un échange incessant entre les liquides dont les tissus sont imprégnés et le sang que renferment les vaisseaux. Ces derniers exhalent les diverses matières dont l'alimentation a enrichi le sang (principes azotés, gras, amyloïdes et matières minérales) ; puis, à la place de ces substances nutritives, s'introduisent, dans le

(1) *Entwickelungs geschichte*, p. 203.

sang, les produits des altérations qu'ont subies les tissus durant l'accomplissement de leurs fonctions. En même temps l'oxygène, apporté par le sang artériel, oxyde les substances amyloïdes et, s'il est besoin, une partie des matières grasses que le tissu possédait déjà ou qu'il vient d'acquérir du sang lui-même, et les produits de cette combustion lente sont entraînés dans le courant circulatoire, tandis que la chaleur résultant de ce phénomène se fixe dans le tissu et contribue à le maintenir dans son intégrité physiologique. Mais c'est aux matériaux azotés introduits dans les liquides propres au tissu lui-même, que celui-ci emprunte les principes nécessaires pour accroître ou réparer sa substance. La créatine, la créatinine, l'acide inosique, etc., par exemple, que le suc de la chair musculaire renferme, sont autant de produits azotés de transformations éliminatoires résultant du travail de nutrition dont les muscles sont le siége.

Ainsi peut-on se faire une idée du phénomène général de la nutrition des tissus que le sang pénètre directement; ainsi se trouvent employés les principaux matériaux provenant de l'alimentation. Mais cette vue générale est loin de satisfaire entièrement l'esprit, et l'on se demande quelles formes organiques, quelles métamorphoses intermédiaires présentent les éléments nutritifs contenus dans le sang, avant de se fixer dans chaque tissu particulier.

Ici commence une longue série de questions encore insolubles de l'aveu même des auteurs les plus autorisés en pareille matière.

« Les substances albuminoïdes, dit Lehmann (1), revêtent, dans l'organisme, les formes les plus variées. Comme il est impossible de les obtenir à l'état de pureté parfaite, on ne saurait dire si elles sont isomères ou polymères, si elles sont des combinaisons particulières d'une même substance fondamentale, ou si elles constituent simplement des corps d'une nature analogue.... » Quant à la *coagulation* des matières albuminoïdes ou à leur passage de l'état soluble à l'état insoluble, « on ignore, ajoute-t-il, la nature chimique de ce phénomène. » — Ainsi, pour comprendre les métamorphoses que subissent les substances azotées, dans le but de former la trame solide des différents tissus, il nous manque, avant tout, une connaissance précise de ces matières elles-mêmes sous leurs formes essentielles : en un mot, la physiologie réclame ici des lumières que la chimie n'est pas encore en mesure de lui fournir. On peut donc seulement remarquer que l'albumine, qui se trouve en abondance dans les tissus en voie de développement et dans le sang, doit être la matière azotée essentiellement propre à la production des autres matières du même genre, par suite du travail de la nutrition. « Mais, comme dit encore Lehmann (2), on ignore de quelle manière l'albumine s'organise en cellules et en tissus. Les dérivés immédiats des matières albuminoïdes semblent bien constituer des termes formant le passage de l'albumine aux substances constitutives des tissus; mais il s'en faut de beaucoup que nous soyons en état de suivre ce passage dans tous ses détails, même par une série d'équations chimiques. »

Il serait superflu d'insister davantage sur cet aveu de notre ignorance. Nous sommes arrivés, en ce qui concerne la nutrition des tissus, aux limites de nos connaissances actuelles. — Quant aux mutations morphologiques des tissus en voie de formation, nous réserverons leur étude pour le chapitre consacré à l'histoire du développement de l'homme et des animaux.

(1) *Ouvr. cit.*, p. 82.
(2) *Ouvr. cit.*, p. 88.

Le besoin répété de prendre des aliments et l'expulsion continuelle d'excrétions de diverses natures nous révèlent suffisamment que l'existence des animaux ne se maintient qu'à la condition d'un travail moléculaire incessant. Mais jusqu'où s'étend le *renouvellement de la matière* dans les corps vivants? Est-il restreint aux fluides organiques qu'il atteint nécessairement, ou bien s'exerce-t-il aussi dans la *trame solide* des tissus eux-mêmes? J. Müller (1), à l'exemple de la plupart des physiologistes, a résolu cette dernière question par l'affirmative. Dans son opinion, tous les tissus, excepté le tissu nerveux, donnent des signes indubitables d'un changement continuel des matériaux qui les constituent, et il entend par là leur trame solide elle-même. Ces signes lui semblent surtout manifestes dans le tissu osseux, et il signale à ce titre la formation des cellules dans les os, celle des sinus frontaux et sphénoïdaux dans l'enfance, la résorption des os soumis à la pression d'une tumeur, la disparition des alvéoles chez les vieillards, l'amincissement du crâne avec l'âge, etc.

Le même auteur n'a sans doute pas cru pouvoir citer, à l'appui de son opinion, des expériences célèbres dont nous tenons à dire ici quelques mots : il s'agit des effets produits sur le système osseux par la garance mêlée aux aliments des animaux. Belchier (2), le premier, attira l'attention des observateurs sur la coloration des os qui résulte de l'ingestion de cette substance; puis de nombreuses expériences de Duhamel (3) vinrent donner une grande importance à la précédente observation. Cet ingénieux expérimentateur crut d'abord avoir démontré que, de tous les organes d'un animal soumis au régime de la garance, les os seuls se colorent par cette substance, et que leur coloration disparaît avec une grande rapidité après que l'animal a repris son régime ordinaire. Il renonça, plus tard, à cette dernière conclusion, et reconnut que les os ne semblent se décolorer que parce que de nouvelles couches non colorées de matière osseuse recouvrent les couches rougies. Enfin, il avait montré que la coloration des os se produit très vîte : il les avait vus devenir d'un rose vif en trois jours et d'une couleur de chair en vingt-quatre heures. Flourens (4), reprenant ces expériences longtemps après, confirma la plupart des faits observés par Duhamel et signala des exemples de coloration encore plus prompte des os. Il étendit ses observations aux dents qui lui offrirent des phénomènes analogues à ceux qui se passent dans le tissu osseux. Flourens s'étant surtout préoccupé dans ses recherches de déterminer quel est le mode d'accroissement des os, il n'entre pas dans notre sujet de rappeler ses conclusions à cet égard. Mais le même auteur aborda aussi la question de la nutrition des tissus en général, et pensa trouver dans les résultats de ses expériences la confirmation des idées émises avant lui sur la *mutation continuelle de la matière* dans les corps vivants. Buffon (5) avait dit : « Ce qu'il y a de plus constant, de plus invariable dans la nature, c'est l'empreinte ou le moule de chaque espèce; ce qu'il y a de plus corruptible, c'est la substance. » G. Cuvier avait plus explicitement indiqué cette mutation : « La vie, dit-il, est un tourbillon..... la matière actuelle du corps vivant n'y sera bientôt plus. » Et cette idée de *tourbillonnement vital*, en rapport avec certaines vues de philosophie spiritualiste, fut admise comme une des lois fondamentales de la vie.

(1) *Manuel de physiologie*, trad. de Jourdan, 2e édit. t. I, p. 288. Paris, 1851.
(2) *Philosoph. Trans.*, vol. XXXIX, 1736.
(3) *Mémoires de l'Académie des sciences de Paris*, 1739.
(4) *Annales des sciences naturelles*, 2e série, t. XIII, p. 97.
(5) *Hist. nat. des animaux ; Du cerf.*

Cependant Serres et Doyère (1), dans un remarquable travail, ayant soumis à un sévère examen les vues et les assertions qui précèdent, se sont crus autorisés, à leur tour, à formuler les conclusions suivantes : « 1° En ce qui concerne la coloration, c'est un phénomène purement chimique qui se produit dans le tissu tout formé ; c'est un fait de teinture. — 2° En ce qui concerne la circulation du sang, le système capillaire du tissu osseux n'est le siége que d'une circulation obscure : nous indiquons ce fait comme pouvant exister dans d'autres tissus ; nous croyons en avoir trouvé, pour le tissu osseux en particulier, une preuve visible dans la marche que suit la coloration chez les animaux soumis au régime de la garance. — 3° En ce qui concerne la nutrition, cet *échange*, ce *renouvellement*, ce *tourbillonnement perpétuel* des molécules, ne sont point une condition essentielle des tissus vivants, à moins qu'on ne veuille ranger le tissu osseux parmi les tissus morts. »

En présence de données et d'interprétations aussi contradictoires, que penser du renouvellement de la matière dans les *parties solides* des tissus? La plupart des faits invoqués peuvent bien fournir des inductions concernant le mode d'accroissement des os; mais, jusqu'à présent, il n'est pas démontré que toutes les molécules du tissu osseux ne doivent séjourner dans les os qu'un temps assez court, ni qu'elles soient *incessamment* remplacées par de nouvelles molécules que d'autres remplaceront bientôt. Or, ce qui peut paraître contestable pour le tissu osseux l'est également pour les autres tissus de l'organisme adulte. Aussi semble-t-il rationnel d'attendre d'autres lumières pour prendre un parti relativement à cette théorie du *renouvellement incessant de la matière* dans la trame solide *des tissus*, théorie qui, si elle n'est pas expérimentalement démontrée, se trouve pourtant assez en rapport avec la manière la plus générale d'envisager les actes intimes de la nutrition.

La question de la *régénération* ou reproduction de certains tissus est évidemment du domaine de la nutrition.

Le germe des animaux possède une merveilleuse puissance organisatrice ; là se révèle une activité nutritive tout exceptionnelle qui produit, de toutes pièces, des tissus nouveaux et des organes entiers souvent très complexes. Mais il semble que cette puissance persiste d'autant moins, chez l'animal, que les organes produits ont exigé, à cause même de leur complexité, qu'elle se déployât avec plus de perfection.

Les expériences célèbres de Trembley nous montrent, par exemple chez l'hydre d'eau douce, une force de régénération des tissus d'autant plus surprenante qu'elle paraît demeurer toujours égale pendant toute la vie de l'animal : aussi une fraction souvent assez faible de son corps, et spécialement des parties qui environnent la bouche, parvient-elle à reproduire tout ce qui lui manque et à reconstituer un animal complet. Chez les planaires, Dugès a constaté une aptitude également bien remarquable à la régénération des parties : il suffit d'un huitième ou même d'un dixième de l'animal pour le reproduire en entier, et cette réparation si étendue ne demande que quatre jours en été, douze ou quinze jours en hiver. Divers annélides, tels que les vers de terre, les naïs, les néréides, reproduisent les anneaux qu'ils ont perdus ; les limaçons régénèrent leurs tentacules et une portion de leur tête, tant

(1) *Ann. des sc. nat.*, 2e série, t. XVII, p. 173.

que, dans l'ablation des parties, n'ont pas été atteints les ganglions nerveux céphaliques accolés à la face supérieure de l'œsophage. Chacun sait que les pattes mutilées renaissent chez les crustacés. Plus élevés en organisation, les arachnides et les larves d'insectes perdent cette faculté de reproduction avec la dernière mue qui signale, chez eux, le passage à l'âge adulte.

Le pouvoir régénérateur des tissus est bien plus limité chez les *vertébrés* que chez les animaux des autres embranchements. Toutefois les poissons peuvent réparer une mutilation qui les a privés d'une nageoire; les salamandres reproduisent leurs pattes ou leur queue coupées, et personne n'ignore que la queue si fragile des lézards repousse facilement et plusieurs fois chez le même individu. Mais aucun animal vertébré, à sang chaud, ne peut reproduire des parties aussi compliquées, et la puissance régénératrice se borne ordinairement, dans ces types élevés, à la réparation de certaines solutions de continuité dans les tissus (*). Chez l'homme, les mammifères et les oiseaux, cette réparation s'effectue à l'aide d'une accélération particulière du mouvement nutritif: le sang afflue surabondamment dans la partie blessée qui s'*enflamme*, la combustion nutritive y devient plus rapide, et la température s'y élève. En même temps exsude des vaisseaux sanguins un fluide organisable qui, s'interposant entre les tissus divisés, tend à les réunir. Si ce premier travail ne suffit pas à réparer la lésion produite, une nouvelle période commence, celle de l'inflammation avec production de pus. D'après J. Müller (1), la matière plastique, exsudée pendant l'inflammation et avant l'apparition du pus, serait de la fibrine en dissolution dans le sang; on y voit se former des cellules qui, par un travail analogue à celui duquel résultent les vaisseaux primitifs dans l'œuf, se transforment en vaisseaux nouveaux que Schrœder van der Kolk et Pockels ont pu injecter avec une grande perfection. Ces vaisseaux sont à la fois, les uns des veinules, les autres des artérioles, d'autres enfin, des vaisseaux lymphatiques. La précédente matière organisable est susceptible de réunir les parties divisées, soit en les soudant en masse, soit en rétablissant la continuité entre parties homologues, ce qui est un résultat plus parfait; mais il est assez ordinaire que le tissu nouveau ne jouisse qu'incomplétement des propriétés physiologiques du tissu primitif ou normal. — Sans vouloir entrer ici dans tous les détails de cette question, nous nous bornerons à signaler les principaux faits qui se rapportent à la régénération des nerfs et à celle des os.

La *régénération des nerfs* a été l'objet de nombreuses expériences. Lorsqu'on coupe un cordon nerveux, si l'on a soin de maintenir au contact les deux extrémités, leur réunion a lieu assez rapidement; mais, d'après Arnemann (2), la matière intermédiaire n'aurait pas la même structure que le nerf coupé. Au contraire, Michaelis, Prévost (de Genève), Meyer et Tiedemann, Schwann, Schiff et plusieurs autres, assurent avoir observé la reproduction des fibres nerveuses elles-mêmes.

Cette question, encore controversée aujourd'hui, ne paraît pas pouvoir se résoudre seulement par l'observation du rétablissement de la sensibilité et du mouvement

(*) Le phénomène de la *mue* chez les mammifères et les oiseaux, le renouvellement des dents de lait, la reproduction des bois ou cornes chez les mâles des cervidés, sont des exemples spéciaux de reproduction que nous devons laisser de côté pour l'instant.

(1) *Manuel de physiol.*, trad. de Jourdan, 2e édit., t. I, p. 329.
(2) *Versuche über die Regeneration der Nerven.* Ebend., 1787.

après la cicatrisation des nerfs. Arnemann (1), Haighton (2), Descot (3), Prévost (de Genève), etc. (4), ont recueilli divers exemples du rétablissement plus ou moins complet des propriétés physiologiques dans des nerfs coupés ou même reséqués dans une certaine longueur. Tiedemann(5), ayant divisé dans l'aisselle d'un chien, tous les troncs nerveux de l'un des membres antérieurs, a constaté qu'au bout de huit mois la sensibilité et la motilité avaient notablement reparu dans ce membre, et qu'après vingt et un mois l'animal en avait recouvré le plein et entier usage. Steinrueck (6) a obtenu des effets analogues. Enfin, tout récemment, Philipeaux et Vulpian (7), après avoir fait de nombreuses expériences, relatives à la régénération des nerfs, sur des mammifères (chiens, lapins, cochon d'Inde), et sur des oiseaux (canards et poules), ont obtenu des résultats dont nous allons donner le résumé.

Lorsqu'on enlève, par excision, un tronçon d'un nerf sur un point quelconque de son trajet, ou bien la continuité du nerf se rétablit plus ou moins rapidement, ou bien la brèche ne se répare pas et le nerf demeure interrompu.

Dans le premier cas, et c'est celui qui se présente le plus souvent, la partie périphérique du nerf, après avoir subi l'altération ordinaire, et après avoir perdu ses *propriétés physiologiques* (excitabilité motrice ou sensitive), *se régénère* assez promptement et recouvre ses propriétés perdues. La *fonction* (sensibilité normale ou mouvement spontané), à laquelle préside ce nerf, ne reparaît en général que plus tard.

Dans le second cas, c'est-à-dire lorsque la partie enlevée par l'excision n'a pas été reproduite, de telle sorte qu'il n'y a plus communication entre la portion centrale du nerf et la portion périphérique, cette portion périphérique, après s'être altérée et après avoir perdu ses propriétés physiologiques, peut rester dans cet état pendant un temps plus ou moins long. Mais, si l'animal était jeune (âgé de quelques jours à trois ou quatre mois par exemple) au moment où il a été mis en expérience, la partie périphérique, au bout d'un temps variable (deux mois au moins le plus souvent), passe par les phases d'une *régénération* plus ou moins complète : les tubes nerveux, d'abord peu nombreux, grêles, délicats, devenant facilement variqueux sous l'influence de la moindre pression, *se multiplient progressivement* et reprennent de plus en plus leurs caractères anatomiques normaux. De même que l'altération paraît consister surtout dans la destruction de la matière médullaire des tubes nerveux, de même la régénération semble due principalement, comme l'admettait déjà Schiff, à la reproduction de cette matière médullaire.

En même temps que la restauration anatomique de la partie périphérique du nerf a lieu, cette partie, bien qu'isolée des centres nerveux, récupère concurremment ses *propriétés physiologiques*. L'excitabilité motrice (nerf hypoglosse et nerf sciatique chez les mammifères, nerf médian brachial chez les oiseaux) reparaît, et chaque fois que l'on irrite la partie périphérique du nerf à l'aide d'agents mécaniques ou galvanique, les muscles animés par ce nerf entrent en contraction.

(1) *Ouvr. cit.*
(2) *Phil. Trans.*, 1795.
(3) *Dissert. sur les affections locales des nerfs.* Paris, 1822.
(4) *Ann. des sc. nat.*, 1re série, t. X, p. 168.
(5) Cité par J. MÜLLER, *Manuel de physiol.*, t. I, p. 337, trad. franç.
(6) *De nervorum regeneratione dissert.* Berlin, 1838.
(7) *Comptes rendus de l'Acad. des sciences de Paris*, octobre 1859. — *Mémoires de la Soc. de biologie.* Paris, 1860.

Quant aux tubes nerveux sensitifs (nerf lingual chez le chien, et nerfs mixtes chez les mammifères et les oiseaux), la solution de continuité qui les sépare du bout central du nerf, et par conséquent des centres nerveux, s'oppose à ce qu'on puisse s'assurer de leur état physiologique ; toutefois l'induction permet de penser qu'ils ont repris leur excitabilité sensitive. Si la partie périphérique d'un nerf, quoique séparée des centres nerveux, peut recouvrer ses *propriétés physiologiques*, il est clair que les *fonctions* auxquelles concourt ce nerf n'en demeurent pas moins abolies ; et il en est ainsi tant que la continuité du nerf est interrompue.

Ces faits ont conduit Vulpian et Philipeaux à conclure : 1° que le maintien de la structure normale des nerfs n'est pas soumis d'une façon aussi absolue qu'on le croyait à l'influence du système nerveux central ; 2° que la *motricité* n'est pas une force émanée des centres nerveux, et accumulée dans les nerfs ; mais que c'est une *propriété physiologique* des tubes nerveux eux-mêmes, propriété qui est liée à l'intégrité de la structure et de la nutrition de ces éléments anatomiques.

La *régénération des os* n'a pas moins occupé les physiologistes que celle des nerfs ; mais il n'entre pas non plus dans notre plan de passer en revue tous les travaux entrepris à ce sujet.

On s'est d'abord préoccupé du mécanisme de la réparation des fractures des os, c'est-à-dire de la *formation du cal*, question intéressante étudiée surtout par Haller (1), Troja (2), Kœhler (3), Macdonald (4), Dupuytren (5), J. Weber (6), Breschet (7), Lebert (8), Miescher (9), etc. — Après une fracture, le tissu cellulaire ambiant, les muscles mêmes et surtout le *périoste*, se gonflent sous l'influence d'une vive inflammation ; l'exsudation plastique, qui en est la conséquence, soude entre elles ces diverses parties molles, et entoure les fragments osseux d'une sorte de capsule dans laquelle s'organise un tissu nouveau, en même temps que le tissu médullaire de l'os, par une exsudation analogue, se confond avec ce tissu nouveau. Celui-ci, à mesure que les parties molles reviennent à leur état primitif, prend une texture fibreuse qui détermine une première réunion des fragments. Cependant le tissu osseux lui-même s'est enflammé à son tour, et laisse exsuder aussi une matière plastique qui s'ossifie au contact de l'os, et de proche en proche à partir de ce contact. Il s'est donc ainsi produit deux tissus nouveaux, le cal fibreux et le cal osseux ; ces deux tissus se fusionnent peu à peu et ne forment, avec le temps, qu'une seule et même masse solide recouverte par un périoste épaissi. Le cal osseux commence à se produire sur les débris de l'os fracturé, dans les points où le périoste y adhère encore : en effet, cette membrane fibreuse paraît jouer là un rôle prépondérant, et *reproduire* véritablement le tissu osseux comme elle l'a produit lors de la formation primitive de l'os. Cette opinion, à laquelle des travaux récents sont venus donner la plus grande valeur, a été soutenue d'abord par Duhamel, puis par Schwenke, Bordenave, Blumenbach, Kœhler, Dupuytren, Boyer, etc. J. Müller, néanmoins, la traite de théorie antiphysio-

(1) *Elem. physiol.*, t. VIII, p. 345.
(2) *De novorum ossium regener. experim.* Paris, 1775.
(3) *Experim. circa regenerat. ossium.* Gœttingue, 1786.
(4) *De necrosi et callo.* Edimbourg, 1799.
(5) *Dict. des sc. méd.*, t. XXXVIII, p. 434.
(6) *Nov. act. nat. cur.*, 12, 2.
(7) *Rech. expérim. sur la form. du cal.* Paris, 1842.
(8) *Ann. de la chirurgie*, 1844, t. X, p. 129.
(9) *De inflammatione ossium.* Berlin, 1836.

ogique (1), et invoque contre elle les noms de Haller, Sœmmerring, Scarpa, etc. D'après J. Müller, le périoste n'aurait d'autre rôle, dans la formation et dans la reproduction des os, que de leur fournir le sang dont ils ont besoin. Cependant, à l'époque où J. Müller se prononçait aussi nettement contre les idées le Duhamel, en ce qui concerne le pouvoir régénérateur du périoste, Flourens (2) en démontrait l'exactitude à l'aide de ses expériences, et Syme (3) les défendait en Angleterre.

Dans un travail récent, L. Ollier (4) a jeté un jour nouveau sur cette question ui a pris, au point de vue chirurgical, une réelle importance. Ce qui distingue travail de L. Ollier, c'est d'avoir démontré la faculté reproductrice du périoste l'égard des os, *en transplantant* cette membrane dans le but de voir si, en dehors es conditions normales, elle pourrait encore produire du tissu osseux : le succès it complet, et mit de plus en plus hors de doute la vérité de la théorie de uhamel. L'auteur a résumé lui-même dans les termes suivants les principaux ésultats qu'il a obtenus :

« *La production de l'os continue à la face profonde du périoste transplanté* ; artout où l'on peut greffer cette membrane, on obtient des os nouveaux adhérents l'os auquel le périoste a été emprunté, ou tout à fait indépendants, selon que le ambeau périostal a été laissé continu au reste du périoste par une de ses extrémités, ou qu'il a été complétement détaché. — Les os ainsi obtenus ne sont pas ulement des concrétions informes de matières calcaires ; ce sont de véritables os, onstitués par les éléments anatomiques qui caractérisent le tissu osseux... Le ouvel os se développe dans le blastème sous-périostal qui existe normalement à la ce profonde du périoste. Cette proposition se démontre par l'examen du développement de l'os nouveau et par l'expérimentation ; l'ablation de cette couche de lastème supprime ou du moins arrête, pour un temps plus ou moins long, la production de l'os. — Le blastème est spécialement constitué par des noyaux libres u inclus dans les cellules, baignant dans une matière semi-liquide transparente u finement granuleuse, et mêlés à une plus ou moins grande quantité d'éléments ibrillaires. Ces divers éléments se développent et se multiplient dans l'exsudat rimitivement amorphe fourni par les capillaires du périoste. — On rencontre énéralement une substance cartilagineuse quand on observe le produit sous-ériostal dans les premiers jours qui suivent la transplantation, mais l'accroissement de l'os nouveau se fait sans l'intermédiaire de cet élément. Ce cartilage 'ailleurs diffère par la configuration et la disposition des éléments anatomiques u cartilage épiphysaire normal. — L'os, dont on enlève un lambeau de périoste, résente au bout d'un certain temps, au niveau de la partie dénudée, une membrane analogue. — *Lorsqu'on enlève un os ou un fragment d'os en conservant le périoste*, c'est-à-dire, en laissant dans la plaie cette membrane adhérente aux parties qui l'entourent normalement, *on voit*, au bout d'un certain temps, *cet os ou cette portion d'os plus ou moins parfaitement reproduits*. La régénération est en ertains cas très complète. Les parties molles environnantes ne peuvent pas suppléer le périoste ; elles ne servent pas directement à l'ossification. La reproduction

(1) *Ouvr. cit.*, t. I, p. 333 et p. 341.
(2) *Théorie expérimentale de la formation des os*. Paris, 1847.
(3) *On the Power of the Periosteum to form new Bones*, etc. Edinburgh, 1848.
(4) *Rech. expérim. sur la production artificielle des os, etc.* (*Journal de la physiol. de homme et des animaux*, année 1859, p. 1 et 170).

immédiats élaborés par la digestion, il faut aussi, d'autre part, pour atteindre ce but, l'élimination continuelle de certains matériaux du sang. Parmi ces matériaux, il en est qui, introduits dans l'organisme, sont ou superflus ou incapables de servir : comme l'eau qui s'échappe par l'exhalation pulmonaire, par la sueur ou par l'urine, et comme certains principes minéraux, mêlés à la nourriture, qui s'en vont plus spécialement par les reins. Mais, ainsi que nous l'avons vu, il est aussi dans le sang d'autres matériaux qui, développés par le travail intime et moléculaire de l'organisme lui-même, ne sauraient y séjourner sans donner lieu à des accidents, comme l'urée, les acides urique et hippurique, produits azotés expulsés par les reins, ou comme les acides sudorique, cholique et choléique, autres produits azotés que chassent la peau et le foie, enfin l'acide carbonique qu'exhalent surtout les poumons. — Partant de ce principe que des composés fixes et définitifs, comme l'urée et l'acide urique, par exemple, ne sauraient être le produit du plasma qui varie dans sa constitution avec les modes d'existence et le genre de nourriture, on a supposé que ces produits devaient provenir des globules qui, bien que différents dans leurs formes, offrent une grande analogie, sinon une identité de composition, dans le sang de tous les animaux supérieurs. L'urée, ou une substance azotée représentée par ce composé, séparée du sang par les reins, serait donc, suivant cette hypothèse, une *excrétion* des globules dans le plasma.

Quoi qu'il en soit, grâce à un travail d'assimilation et de désassimilation si admirablement compensé, on arrive à comprendre que, plasma et globules, qui ont d'ailleurs une composition jusqu'à un certain point solidaire, puissent maintenir cette composition, malgré ses variations, dans des limites compatibles avec l'entretien de la vie et de la santé.

VIII. — Pour passer en revue toute la série des actes nutritifs, il reste à se rendre compte de la production ou de l'entretien des tissus animaux, et aussi de la régénération que présentent plusieurs d'entre eux. Cette importante question ne saurait être traitée en ce moment au point de vue morphologique ; c'est en traçant l'histoire du développement des tissus qu'il y aura lieu de l'envisager ainsi. Mais, dans l'étude de la nutrition, elle se pose en quelque sorte d'une façon plus générale et plus élevée. Comment se forme un tissu vivant, aux dépens de la matière alimentaire ; quels sont les principes nourriciers qui y prennent part et par quelle série de métamorphoses ces principes se transforment-ils en la substance même d'un organe vivant et fonctionnant? tel est le problème, encore à peine abordable dans l'état actuel de la science, que le physiologiste rencontre devant lui au dernier terme de l'histoire générale de la nutrition.

Aussi, à propos de ce problème, resté insoluble jusqu'à présent, n'avons-nous d'autre but que d'exposer les premiers éléments d'une solution réservée à l'avenir.

Il importe, avant tout, de se faire une idée bien nette de ce qui constitue un tissu animal dans ses conditions physiologiques. On y trouve comme partie essentielle une trame solide, à formes définies, qui souvent a été regardée comme constituant à elle seule chaque tissu, parce qu'elle en est la partie la plus durable et la plus caractéristique. C'est d'elle qu'il est vrai de dire que tout tissu animal se compose essentiellement de matière azotée; c'est elle que l'anatomiste analyse et décrit avec le secours du scalpel et du microscope; c'est elle aussi qui a été étudiée presque exclusivement dans les recherches histologiques. Mais le physiologiste ne

saurait y voir tout le tissu tel qu'il existe lorsque la vie l'anime et le met en jeu ; tel, en un mot, que la nutrition le produit et l'entretient. Cette trame, de nature azotée et dont la substance dérive toujours des principes protéiques, ne saurait représenter le tissu complet qu'à la condition qu'on y ajoute les fluides organiques dont elle est constamment imprégnée durant la vie. Les tissus les plus solidifiés, les os et les dents, montrent eux-mêmes cette imbibition profonde de leur tissu solide par des fluides qui ne leur font jamais défaut à l'état physiologique. Mais, le fait est bien autrement manifeste, si l'on considère les tissus, si répandus dans l'organisme, qui doivent posséder cette souplesse, cette flexibilité et cette élasticité toute particulière des membranes, de la chair musculaire, etc. ; souplesse et flexibilité que l'industrie humaine serait si désireuse d'introduire dans plus d'un rouage de ses machines et que jusqu'à présent elle n'a pu imiter en rien. N'est-il pas évident, en prenant pour exemple un des tissus les plus abondants de l'économie, que la fibre musculaire, isolée avec soin et privée des divers fluides qui la pénètrent habituellement, ne représente pas le tissu des muscles, mais seulement un de ses éléments les plus importants ?

On ne saurait laisser de côté de pareilles notions sans s'exposer à des interprétations erronées dans l'étude de l'assimilation nutritive. En effet, on pose volontiers comme un axiome, que les tissus étant formés de substance azotée, les matières albumino-fibrineuses peuvent *seules* être employées à les produire ou à les réparer. Cette proposition consacrerait une erreur, si on lui laissait un sens absolu ; elle ne saurait être considérée comme exacte qu'en l'appliquant exclusivement à la trame solide des tissus, abstraction faite des fluides surajoutés qui peuvent être de nature azotée ou non azotée. C'est ainsi que la chair musculaire, par exemple, est essentiellement constituée par la *musculine* ou *syntonine*, substance azotée très voisine de la fibrine du sang avec laquelle on l'a longtemps confondue. Les fibrilles formées de musculine sont enveloppées d'un *sarcolemme* dont la substance se rapproche, selon Lehmann (1), de celle du tissu élastique et est encore de nature azotée. Mais ces éléments solides, et à formes définies, du tissu musculaire, sont imprégnés d'un liquide dans lequel on a reconnu, à côté de matières azotées, comme la *créatine*, la *créatinine*, la *caséine*, l'*albumine*, l'*acide inosique*, etc., d'autres matières non azotées, telles que l'*acide lactique*, un des produits de transformation du principe sucré, l'*inosite*, matière saccharine elle-même, la *dextrine* (Sanson), et enfin plusieurs acides gras. Si l'on ajoute à cela de l'*eau*, et des *substances minérales* que fournissent les cendres de la chair musculaire, on sera frappé de ce fait que le tissu des muscles, quand il se présente avec toutes ses conditions normales, renferme les divers principes que doit contenir aussi tout aliment complet. — Le même résultat se révélerait si l'on étudiait à ce point de vue les principaux tissus. — En ce qui concerne la présence des principes hydrocarbonés, nous avons précédemment fait observer que la matière amyloïde animale (*zoamyline*) est si rapidement employée par la combustion nutritive, qu'elle ne *s'accumule* qu'exceptionnellement dans les tissus (*).

Il résulte de ces considérations, que les aliments, nommés *plastiques* par Liebig, ont en effet le privilége exclusif de nourrir la trame solide des tissus ; mais que les autres substances qui figurent dans une alimentation complète chez les animaux

(1) *Précis de chimie physiologique*, traduction de Ch. Drion, p. 273. Paris, 1855.

(*) Voir ci-dessus, page 1044.

naissances exactes et étendues, d'une part, sur les phénomènes de la nutrition, d'autre part, sur les réactions chimiques des matières constitutives du sang et des principes constitutifs de nos organes.

X. — Il nous reste à passer en revue diverses conditions qui peuvent avoir de l'influence sur les actes intimes de la nutrition.

A. — Quelles que soient les divisions que l'on adopte relativement aux âges de la vie de l'homme ou des animaux, on peut, au point de vue de la nutrition, admettre dans leur existence trois grandes périodes : 1° une *période d'accroissement* comprenant l'enfance et la jeunesse ; 2° une *période* dite *d'état* ou *d'entretien*, comprenant l'âge adulte ; 3° une *période de décroissance*, comprenant la vieillesse et la décrépitude.

La première période est caractérisée par une augmentation de poids qui suppose, comme résultat essentiel du travail nutritif, une augmentation de matière par fixation de substances nouvelles dans l'organisme, c'est-à-dire une prédominance des acquisitions sur les pertes. La deuxième période, celle de l'âge adulte, pendant laquelle se maintiennent à peu près le poids du corps, son volume et ses formes générales, suppose nécessairement une compensation exacte des acquisitions par les pertes éprouvées. Enfin, dans la troisième période, l'individu, à mesure qu'il avance en âge, doit voir augmenter la proportion des pertes aux acquisitions, puisque en général son corps diminue peu à peu et d'une façon d'autant plus rapide qu'il vieillit davantage. — Pour exprimer, d'une manière simple, ces conditions du travail nutritif, on a dit que la nutrition, se composant de deux mouvements généraux, celui de *composition* et celui de *décomposition*, les trois précédentes périodes de la vie de l'homme ou des animaux correspondaient aux relations variables et réciproques de ces deux mouvements : on voit, dans la période d'accroissement, le mouvement de composition prédominer sur celui de décomposition ; la période de décroissance offre un rapport inverse, le mouvement de décomposition prédominant à son tour ; enfin l'âge moyen ou adulte doit son état stationnaire à une égale intensité des deux mouvements de composition et de décomposition.

Les différences que présente, suivant les âges, la nutrition d'un même animal ou d'un individu de l'espèce humaine, tiennent d'abord à cette influence mystérieuse par laquelle s'épuise peu à peu la force initiale qui, aux premiers temps de la vie, a créé les organes ; elles tiennent en outre aux modifications mêmes que ces organes éprouvent par leur propre jeu et par l'accumulation des effets de l'activité vitale. Ce second ordre de causes est plus accessible que l'autre à nos observations, et tous les anatomistes ont constaté les différences de structure, de consistance, de composition, de propriétés physiologiques que l'âge apporte dans un même organe. On peut dire qu'en général ces différences consistent dans une augmentation de la proportion des matériaux solides de nature organique ou de nature minérale : à l'âge adulte, cette augmentation donne aux tissus des organes plus de consistance et plus de vigueur ; pendant l'enfance et la jeunesse, la prédominance des fluides dont les organes sont imprégnés ou traversés, rend plus rapides les phénomènes de circulation, de mutations chimiques dans les tissus, en même temps que ceux-ci ont une texture plus molle, une consistance moins grande ; enfin l'organisme des vieillards semble s'incruster peu à peu de matières

solides, de façon que les fluides se meuvent avec une difficulté toujours croissante au milieu de tissus de plus en plus solidifiés.

Le résultat essentiel de la nutrition, pendant l'enfance et la jeunesse, c'est l'*accroissement*. Nous croyons devoir donner ici quelques indications à cet égard, au moins en ce qui concerne l'espèce humaine. Au moment de sa naissance, l'enfant, dans les conditions normales, mesure en moyenne 50 centimètres de longueur et pèse environ 3 kilogrammes et demi. La crise que le moment de la naissance détermine, chez l'enfant, est signalée, d'après quelques observateurs, par un arrêt très court dans l'accroissement. Quételet avait déjà fait observer que le poids de l'enfant diminue pendant les premiers jours qui suivent la naissance; et, d'après lui, l'accroissement ne reprend son cours qu'après la première semaine. Burdach (1) cite des observations faites sur sept enfants, et d'après lesquelles le nouveau-né perdrait environ 140 grammes de son poids pendant les quatre premiers jours. Schwartz (2) a néanmoins observé un enfant à la mamelle, qui, pendant la première semaine, augmenta de 37 millimètres en longueur et de 150 grammes en poids; mesuré pendant chacun des neuf premiers mois, son accroissement donna les résultats suivants :

	Millimètres.	Grammes.
1er mois	56	6735
2e mois	27	1125
3e mois	15	187
4e mois	23	750
5e mois	13	375
6e mois	15	250
7e mois	26	375
8e et 9e mois	34	625
Accroissement total en 9 mois	209	10422

Meade (3) a fait des observations sur le développement comparatif des diverses parties du corps pendant la première enfance, observations dont voici quelques résultats : — Le crâne se développe plus que la face avant l'éruption des dents, mais ce dernier phénomène donne ensuite la prépondérance au développement de la face; — le tronc augmente un peu moins rapidement en longueur que tout l'ensemble du corps; — le rapport de la longueur du tronc à celle du corps, au moment de la naissance, est de 100 à 225; tandis qu'à 9 mois ce rapport serait celui de 100 à 244. Les membres inférieurs ont surtout profité de cet accroissement, mais les supérieurs en ont eu aussi leur part.

Pendant la seconde année, suivant Burdach (4), l'enfant s'allonge en moyenne de 78 millimètres; de 52 environ pendant la troisième, de la même quantité pendant la quatrième et aussi pendant la cinquième, de 26 millimètres pendant la sixième, et de 50 environ pendant la septième année. D'après les calculs de Quételet, l'accroissement de l'homme serait représenté par les chiffres suivants :

(1) *Traité de physiologie*, trad. de Jourdan, t. IV, p. 454.
(2) *Erziehungslehre*, t. III, p. 314 et suiv.
(3) *Ausführliches Handbuch der gerichtlichen Medicin*, t. II, p. 314, et t. IV, p. 68 et 72.
(4) *Ouvr. cit.*, t. IV, p. 463.

AGE.	GARÇONS. LONGUEURS. Centimètres.	GARÇONS. POIDS. Kilogrammes.	FILLES. LONGUEURS. Centimètres.	FILLES. POIDS. Kilogrammes.
2 ans.....	69,5	12,108	68,4	11,387
3 ans.....	75,8	14,310	74,6	12,593
4 ans.....	81,5	15,192	80,4	13,887
5 ans.....	86,8	16,841	85,6	15,341
6 ans.....	89,6	18,418	74,6	17,093
7 ans.....	97,6	20,403	95,3	18,748
10 ans.....	112,0	26,201	109,7	25,124
15 ans.....	135,6	46,701	131,6	43,217

A vingt ou à vingt-deux ans, l'accroissement peut en général être consi comme à peu près terminé, et la taille est en moyenne de 1^{m},447 chez l'hom et de 1^{m},358 chez la femme; le poids moyen est de 65 kilogrammes pou premier et de 63 environ pour la dernière.

La nutrition, pendant la durée de cet accroissement, a développé les di organes, non pas d'une façon égale et en quelque sorte proportionnelle, chacun selon son rôle à tel ou tel âge. Plus tard, en traitant de la *généra* nous préciserons les faits de développement qui caractérisent chaque âge, e différences que présentent à chaque période les diverses fonctions de la vie.

Ce serait une étude longue à faire que celle où l'accroissement des espèces s observé d'une manière générale chez les principaux types des divers groupe règne animal, de façon à réunir sur chacune d'elles au moins les renseignem que l'on possède jusqu'ici sur l'espèce humaine. Cette étude, qui a été à p ébauchée sur quelques points, conduirait sans doute à découvrir plusieurs nouvelles et curieuses sur le développement.

B. — En essayant d'indiquer à présent quelle influence les habitudes et div circonstances extérieures peuvent exercer sur les résultats de la nutrition, avons surtout en vue l'espèce humaine, qui jouit seule du privilége de modifie sa propre volonté ses conditions d'existence ou celles des animaux qu'elle a à sa destinée. L'étude particulière et générale des fonctions de la nutrition m montré que l'organisme de l'homme et les organismes des animaux supér sont en échange continuel de matériaux avec le monde extérieur, et qu'ils ne vent s'entretenir qu'à cette condition. C'est principalement à l'aide de l'*ali tation*, de la *respiration*, des *excrétions* et des *exhalations* de tous genres cet échange s'opère.

Les habitudes diverses des individus introduisent dans leur *alimentation* différences qui ont sur la nutrition une influence incontestée : déjà, à propo l'étude des aliments, nous avons indiqué le rôle de chacun d'eux; mais ce ressort évidemment de tous les faits recueillis par les observateurs, c'est q système donné d'alimentation produit des effets différents dans tel ou tel cli chez un individu occupé de telle ou telle manière, vivant habituellement dans atmosphère sèche ou humide, etc. Il est clair, en effet, qu'un régime alimen déterminé n'a pas toujours le même emploi dans la nutrition : le froid, l'act physique qui accélèrent la respiration et l'excrétion urinaire, la sécheres l'atmosphère qui augmente l'exhalation aqueuse, prélèvent une part plus gr sur la matière alimentaire pour la restituer immédiatement au dehors; au

traire, une douce température, l'inertie physique, l'humidité de l'atmosphère, atténuent les précédents phénomènes d'élimination et tendent à encombrer l'organisme d'un excédant de matériaux nutritifs. Ainsi, dans l'Orient, la vie paresseuse des femmes, l'abus des bains réitérés et la douceur extrême du climat ou des températures artificielles où elles se maintiennent habituellement, amortissent de la façon la plus marquée l'activité nutritive, développent un embonpoint précoce, donnent aux tissus une consistance molle et lâche, rendent l'appétit presque nul et finissent par amoindrir sensiblement l'activité intellectuelle. Les populations du Nord ou les parties élevées des montagnes offrent un spectacle tout opposé : leur alimentation est abondante, riche en matières grasses et souvent complétée par l'usage des liqueurs alcooliques ; à ce prix, elles peuvent fournir une énergie considérable d'un travail soutenu. Elles ne sauraient même se soustraire à la plupart de ces conditions, car le froid qui les environne accélère leur respiration et entraîne nécessairement une accélération correspondante dans tout le travail nutritif. Si le froid n'est pas excessif, leur corps, sous la double influence d'une alimentation copieuse et d'une grande activité musculaire, prend un développement remarquable et atteint les plus grandes proportions que l'on observe chez l'homme. Les animaux domestiques, soumis aux mêmes influences, en éprouvent les mêmes effets, de telle sorte que les races flamandes ou suisses, par exemple, se font remarquer par leur haute taille non-seulement dans l'espèce humaine, mais encore dans les espèces bovine, chevaline, etc.

Dans les contrées chaudes des tropiques ou de l'équateur, une respiration moins active restreint les besoins de l'alimentation, rend la nutrition moindre, mais, par cela même, moins efficace pour permettre un travail musculaire soutenu et pour accroître l'amplitude des formes corporelles. En vain, par un effort de la volonté, tenterait-on de lutter contre cette influence au delà de certaines limites : une sueur habituelle, en inondant la surface du corps, provoque une déperdition considérable d'eau et de substances empruntées aux tissus; les organes débilités, et faiblement excités par un sang où l'hématose se fait lentement, ne peuvent sans inconvénient supporter une alimentation abondante. Des désordres graves, parmi lesquels figurent en première ligne des altérations du foie, ne tardent pas à révéler une sorte d'encombrement dans l'organisme, réclament impérieusement le retour à un régime approprié au climat, ou punissent inévitablement une persistance opiniâtre dans des habitudes antihygiéniques. « L'Anglais, dit Liebig (1), voit avec regret son appétit, qui lui procure des jouissances souvent renouvelées, se perdre à la Jamaïque, et ce n'est qu'à l'aide d'excitants énergiques, avec du poivre de Cayenne par exemple, qu'il réussit à y prendre la même quantité de substances alimentaires que dans son pays. Mais le carbone de ces substances ne trouve aucun emploi dans le corps, car la température de l'air est trop élevée; la chaleur énervante du climat empêche le corps d'augmenter le nombre des inspirations par un mouvement soutenu, et conséquemment de mettre une proportion suffisante d'oxygène en rapport avec les matières consommées. »

En arrêtant sa pensée sur ces rapports multiples de la nutrition avec les climats, les mœurs, les occupations, etc., on entrevoit quelques-unes des causes qui maintiennent de si profondes différences entre les races des contrées chaudes et

(1) *Chimie organique appliquée à la physiologie animale*, trad. de Jourdan, p. 25.

celles des pays froids. L'invasion du ve siècle a eu beau jeter en Italie, en Espagne, en Barbarie, des populations germaniques, les traits distinctifs de ces populations septentrionales ont disparu sous le ciel du Midi, et la race locale a conservé son type sous l'influence des causes qui l'avaient développé, et qui, avec le temps, y ramènent tout élément nouveau importé d'ailleurs.

Ces considérations, qu'il n'y a pas lieu de poursuivre ici, mèneraient à rechercher quelle part on peut assigner aux modifications subies par la nutrition, dans la production des caractères extérieurs des races humaines. Les mœurs des peuples chasseurs de l'Amérique du Nord, profondément différentes de celles des peuples pasteurs de l'Asie centrale, ont introduit dans les phénomènes de nutrition des différences qui, par exemple, expliqueraient peut-être pourquoi les formes extérieures de ces deux groupes d'individus sont si distinctes. Ne serait-ce point aussi une modification du mécanisme nutritif qui aurait pourvu la peau des nègres d'une si forte proportion de pigmentum, et altéré si profondément la texture du système pileux ? Le Blanc, vêtu et abrité selon les ressources d'une civilisation inconnue au Nègre, ne subit pas exactement sous le même climat les mêmes influences que lui, et ne verrait sans doute pas sa race se modifier, avec le temps et les générations, de la même façon que s'est modifiée la race noire ; mais, à coup sûr, le Blanc subirait aussi ces influences à sa manière, quand bien même des mélanges nombreux ne confondraient pas le sang de ces deux types d'une même espèce.

Ces questions rentrent dans le domaine de l'anthropologie, de l'hygiène et de la zoologie, qui, en les traitant, ne sauraient guère se passer d'emprunter à la physiologie ses notions sur les actes intimes de la nutrition.

XI. — Quant à l'*influence du système nerveux sur la nutrition*, nous croyons devoir réserver l'étude de ce problème pour le moment où nous nous occuperons aussi de déterminer les rapports du même système avec la *calorification* et les *sécrétions*.

DE LA CHALEUR ANIMALE

Les êtres vivants, animaux ou végétaux, présentent, en vertu de leur organisation et sous l'influence de la vie, un certain nombre de phénomènes qui, de prime abord, tendraient à les faire regarder comme étant soustraits à l'empire des lois physiques. Dans ce nombre, un des plus curieux, sans contredit, est l'existence d'une *chaleur propre*, c'est-à-dire plus ou moins indépendante de la température du milieu environnant.

Cette chaleur propre, qui, chez l'homme, oscille dans des limites fort restreintes en deçà et au delà de 37 degrés centigrades, lui permet de supporter tour à tour les rigueurs de l'hiver et les ardeurs de l'été; de passer rapidement de l'équateur au pôle; de se transporter, en quelques heures, d'un sol brûlant sur des sommets couverts de neiges éternelles, et même, en quelques minutes, d'atteindre, en ballon, les plus hautes et les plus froides régions de l'atmosphère, où la vie soit possible. Elle lui donne la faculté, chose à peine croyable, d'affronter des températures capables de le désorganiser, s'il n'était protégé par les moyens mêmes à l'aide desquels cette chaleur propre se maintient en lui à un degré à peu près constant : ainsi, il pourra séjourner dans un four jusqu'à parfaite coction de certains aliments qu'il y a introduits en même temps que lui; parcourir des espaces envahis par les flammes ou couper avec la main un jet de bronze ou de fonte en fusion, etc.; et, par opposition, il pourra aussi vivre et fonctionner régulièrement dans des climats où le froid serait capable de congeler tous les liquides organiques et où son intensité met à toute végétation un obstacle insurmontable.

Une faculté aussi remarquable, se développant sous l'influence de la vie, doit se retrouver et se retrouve en effet à des degrés divers, dans tous les êtres vivants, même chez les végétaux : mais c'est seulement chez l'homme qu'elle existe avec l'énergie et l'étendue que nous venons d'indiquer.

Elle a, de tout temps, appelé l'attention et provoqué les méditations des observateurs. A quelque époque que l'on remonte dans l'histoire des sciences naturelles, on voit qu'ils ont appliqué tous leurs efforts et toute leur sagacité à l'étude de ce phénomène. Si leurs tentatives pour en pénétrer le mystère sont restées impuissantes, il faut en rechercher la cause dans l'état où se trouvaient alors les sciences physico-chimiques.

C'est seulement de nos jours que cet important problème a pu être abordé avec succès, et le même génie créateur, qui a ouvert à la chimie une voie nouvelle, a pu déduire de ses expériences les principes d'une solution tant de fois et si vainement cherchée avant lui.

La théorie proposée par Lavoisier pour expliquer la production de la *chaleur animale* est encore aujourd'hui la plus rationnelle que la science possède : si les travaux de ses successeurs l'ont modifiée dans quelques détails secondaires, ils ne

l'ont point ébranlée dans ce qu'elle a d'essentiel, et l'on peut toujours la regarder comme un des plus beaux titres de gloire de son immortel auteur.

Dans l'étude à laquelle nous allons nous livrer, nous adopterons l'ordre suivant : Appréciation thermométrique de la chaleur propre aux êtres vivants ; — différences que cette chaleur présente dans les diverses classes d'animaux et dans les plantes ; — variations dont elle est susceptible dans l'état de santé, notamment chez l'homme ; — altérations qu'elle peut subir sous l'influence de la maladie ; — aperçu historique des travaux et des théories dont elle a été l'objet.

Quant aux *sources de la chaleur animale*, elles seront nécessairement examinées surtout à propos de cette dernière étude.

I. — Les recherches thermométriques que l'on pratique sur les animaux ont pour but tantôt d'apprécier la température d'un point déterminé de la surface extérieure du corps ou même celle de parties profondément situées, et tantôt, au contraire, d'évaluer la quantité de chaleur dégagée par l'animal tout entier pendant un certain laps de temps, abstraction faite de la température de tel ou tel point considéré isolément.

Nous réunirons sous le nom de *thermométrie* tout ce qui est relatif à l'appréciation de la chaleur locale, et nous réserverons celui de *calorimétrie* à l'examen des procédés tant directs qu'indirects qui servent à mesurer la totalité de la chaleur émanée d'un animal dans un temps donné.

Pour apprécier, chez l'homme et chez la plupart des vertébrés, la température locale d'un organe extérieur ou intérieur, on a recours le plus souvent au thermomètre ordinaire, dont il suffit de suivre la marche ascendante ou descendante, jusqu'au moment où il devient stationnaire.

Le choix de l'instrument est soumis à quelques conditions qui peuvent être résumées ainsi :

On doit préférer un thermomètre à mercure (1); à division centigrade (2)

(1) Cette préférence est fondée sur ce que ce métal est toujours homogène, inaltérable par voie de décomposition, bon conducteur de la chaleur, pour laquelle il n'a qu'une faible capacité, et sur ce qu'enfin il se dilate proportionnellement à la température entre 0° et 100°.

(2) Le thermomètre centigrade ou de *Celsius*, bien qu'infiniment plus commode que les autres, n'est pas universellement adopté : il importe donc, pour l'intelligence des auteurs qui ne l'ont pas employé, et aussi afin d'arriver à des résultats comparables, de savoir transformer en degrés centigrades les indications des thermomètres de *Réaumur* et de *Fahrenheit*.

Pour le premier, cette opération est extrêmement simple : les deux points fixes sont, comme pour le thermomètre centigrade, la *glace fondante* et l'*eau bouillante*, mais avec cette différence que l'intervalle qui sépare ces deux termes s'y trouve partagé en 80 parties ou degrés, au lieu de 100 : il suffit donc d'ajouter à une indication exprimée en degrés de *Réaumur* le quart de sa valeur, pour la transformer en degrés *centigrades*. Ainsi, 12° R. équivalent à 15° c.; 40° R. à 50° c.; 80° R. à 100° c.

Le thermomètre de *Fahrenheit* n'a qu'un point fixe de commun avec le thermomètre *centigrade*; c'est celui de l'eau bouillante, qui y porte le chiffre 212. — Le *zéro* de cet instrument est obtenu par un mélange de neige et de sel marin à proportions déterminées. — Le terme de la *glace fondante*, mesuré avec ce thermomètre, arrive quand le mercure atteint 32 degrés : par conséquent, entre la *glace fondante* et l'*eau bouillante*, on compte 212° moins 32°, c'est-à-dire 180°. Ces 180° équivalant aux 100° qui, dans notre échelle thermométrique, séparent les deux termes précités, chacun d'eux a une valeur égale aux 5/9es du degré centigrade.—Ceci posé, pour transformer une indication du thermomètre de Fahrenheit en degrés centigrades, il suffit de multiplier par 5 le nombre de degrés *supérieurs* ou *inférieurs* à 32, et de diviser par 9 le produit obtenu : il y a seulement cette différence dans le résultat, que, si l'on opère sur une indication Fahrenheit *supérieure à 32°, le chiffre* trouvé répond à une valeur positive ou marquée du signe +; si, au contraire,

gravée sur la tige. — La longueur totale de l'instrument ne dépassera guère 25 centimètres (1); chaque division ou degré mesurera 5 à 10 millimètres (2) et le réservoir sera très petit (3). — Enfin, ce thermomètre devra être construit depuis assez longtemps, avant d'être divisé et mis en usage (4).

Avec un pareil thermomètre, les observations se réduisent à la simple lecture des indications.

Veut-on une précision plus grande, il faut recourir à des instruments plus parfaits, dont l'emploi nécessite, pour chaque observation, un petit calcul de transformation des résultats obtenus en degrés du thermomètre centigrade. — Ces instruments sont les thermomètres à *échelle arbitraire* (5) et les thermomètres *métastatiques* de Walferdin (6).

l'indication qu'il s'agit de transformer est inférieure à 32°, terme, comme nous l'avons dit, de la *glace fondante*, le chiffre obtenu représente une valeur *négative*, c'est-à-dire, marquée du signe —.

Voici quelques exemples : 1° On a + 86° F., c'est-à-dire, 54° *au-dessus* de 32 : 54 × 5 = 270, qui, divisé par 9 = 30. — + 30° c. répondent, en effet, à 86° F.

2° Soit 14° F., c'est-à-dire 18° *au-dessous* de 32 : 18 × 5 = 90, qui, divisé par 9 = 10. — Ce chiffre de — 10° c. est l'équivalent de + 14° F.

3° Enfin, — 4° F. se trouvent à 36° F. *au-dessous* de la *glace fondante* : en opérant comme plus haut, on a 36 × 5 = 180, qui, divisé par 9 = 20 ; d'où — 20° c. équivalent à — 4° F.

(1) Pour les observations physiologiques et pathologiques, on n'a besoin que de la portion de l'échelle thermométrique voisine de celle qui répond à la température moyenne et normale de l'animal en expérience. Ainsi, cette température oscillant, chez l'homme, entre 36°,50 et 37°,50, l'instrument destiné à en apprécier les variations peut être réduit à la portion d'échelle comprise entre 25 et 50 degrés. — On voit, d'après cela, qu'un seul et même thermomètre ne peut pas servir pour toutes les recherches.

(2) La longueur du *degré* dépend du rapport qui existe entre la capacité du réservoir et le diamètre intérieur de la tige du tube : comme le réservoir doit lui-même être très petit, pour les raisons énumérées dans la note suivante, le diamètre du tube ne peut être qu'extrêmement fin. — Avec les longueurs limites assignées ci-dessus, il est facile d'apprécier à l'œil nu les variations de température à un *dixième* de degré près.

(3) A cette condition sont liées la sensibilité de l'instrument et l'exactitude des observations : il faut, en effet, que l'équilibre de température s'établisse promptement entre le thermomètre et le milieu environnant ; et de plus, la déperdition de chaleur qui en résulte pour ce dernier ne doit pas être assez notable pour altérer les résultats observés.

(4) Despretz a prouvé, que le *zéro* du thermomètre à mercure est un point sans cesse oscillant. La cause la plus puissante de ce phénomène réside dans la réaction moléculaire consécutive au soufflage du verre et à l'ébullition du mercure. Il suffit donc, pour en atténuer les effets de manière à les rendre négligeables dans les recherches dont il s'agit, de n'y employer que des thermomètres préparés assez longtemps à l'avance, pour que le mouvement de retrait causé par le refroidissement du verre soit à peu près terminé quand on procédera à la division de la tige. Il serait encore plus sûr de vérifier fréquemment la position du *zéro* de l'instrument dont on fait habituellement usage, en le plongeant dans la glace fondante.

(5) Dans le thermomètre à *échelle arbitraire*, la division n'indique que des fractions de la capacité intérieure de la tige, aussi égales entre elles qu'il est possible de les obtenir, mais n'ayant qu'une relation indirecte avec les *points fixes* du thermomètre ordinaire.

On établit cette relation à chaque expérience ou série d'expériences exécutées dans un laps de temps peu considérable ; puis, on interprète les indications observées. — Supposons, par exemple, que, dans un semblable thermomètre, toutes corrections faites, l'intervalle entre la *glace fondante* et l'*eau bouillante* comprenne 900 divisions, et que la température observée se trouve indiquée par 297 divisions au-dessus du terme de la *glace fondante*, on posera la proportion suivante : 900 : 297 :: 100 : x, d'où l'on peut tirer la valeur de $x = \frac{297 \times 100}{900} = \frac{297}{9} = 33°$.

(6) Les thermomètres *métastatiques* de Walferdin sont d'autant plus précieux, que, propres à mettre en évidence des fractions minimes de degré, ils peuvent signaler des différences notables de température entre des parties où des appareils moins délicats n'en accuseraient aucune. — Un autre avantage du thermomètre métastatique, c'est de pouvoir servir à l'observation de températures très distantes les unes des autres, et, par conséquent, de tenir lieu de plusieurs thermomètres à échelle fractionnée : en effet, *bien que la tige de cet instrument ne mesure*, dans toute sa lon-

Quelque parfait que soit le thermomètre avec lequel on opère, on n'en obtiendrait que des indications erronées, si l'on négligeait de le soustraire *à la pression des corps environnants, et au refroidissement par rayonnement, par contact ou par évaporation.*

Walferdin (1) a signalé toute l'étendue des erreurs dues à la *pression extérieure* sur le réservoir de l'instrument. Il a fait voir que celle des doigts suffit pour produire une ascension considérable du mercure dans la tige. On devra donc, dans les recherches dont il s'agit, s'assurer avant tout que les organes explorés

gueur, qu'un peu plus de *dix degrés* centigrades, comme il est possible de faire varier à volonté et suivant les besoins de l'expérience, la quantité de liquide (*mercure* ou *alcool*) contenu dans le réservoir et dans la tige, on a la facilité de régler l'instrument pour le faire fonctionner entre deux limites de température séparées l'une de l'autre par un intervalle de *dix* degrés : soit de 0° à 10°, ou de 10° à 20°, de 20° à 30°, de 30° à 40°, etc.; et comme la tige offre 200 divisions entre ces deux limites extrêmes, il en résulte que chaque degré en contiendra 20. De plus, ces mêmes divisions étant assez espacées entre elles, pour qu'il soit facile d'en apprécier à simple vue la *cinquième* et même la *dixième* partie, on pourra lire directement, sur ces instruments, un *centième* et même un *deux-centième* de degré centigrade. — L'artifice de construction imaginé par Walferdin, pour obtenir ces résultats importants, consiste à ménager à l'extrémité supérieure de la tige un second réservoir vide, ayant pour destination de loger la portion du liquide thermométrique qui doit être distraite de la masse dans les conditions de température où l'observation a lieu. — Voici maintenant la marche à suivre pour mettre en expérience un thermomètre métastatique. Supposons que l'on se propose d'opérer entre 30 et 40 degrés : on plonge l'instrument avec un *thermomètre étalon* (*a*) dans de l'eau chauffée à 42 degrés environ ; dès que l'équilibre de température s'est établi, on retire le thermomètre métastatique, et, au moyen d'une petite secousse opérée de haut en bas, on brise la colonne mercurielle, au niveau de la naissance du réservoir supérieur, où se trouve retenu l'excédant du mercure que la dilatation du métal y avait fait affluer. Il ne reste plus qu'à fixer exactement, pour l'instrument ainsi préparé, les points correspondant à 40 et à 30 degrés, fixation qui se fait avec la plus grande facilité au moyen de l'étalon.

Pour des séries d'expériences supérieures à 40 degrés ou inférieures à 30, on règle de nouveau l'instrument, en commençant par rétablir la continuité entre le mercure de la tige et celui du réservoir supérieur, par l'application d'une chaleur convenable. Après quoi, on procède comme nous l'avons dit plus haut, c'est-à-dire qu'on opère la rupture de la colonne mercurielle indicatrice, lorsqu'elle a été chauffée un peu au-dessus de la limite supérieure à laquelle on veut opérer.

Quand on explore des organes profondément situés, ou que l'instrument est en contact avec le sang ou toute autre humeur, il devient impossible de lire directement les indications du thermomètre. On doit alors recourir à l'emploi du thermomètre à *maximum* imaginé par Walferdin pour ces cas particuliers. Dans cet instrument, la colonne de mercure contenue dans la tige est séparée en deux portions près de son extrémité libre, au moyen d'une *bulle d'air* préalablement renfermée dans l'ampoule supérieure. Pour le régler, on dilate le mercure, jusqu'à ce qu'il se présente à l'extrémité de la tige, on en détache alors par une secousse un petit globule, qui tombe dans l'ampoule ; on fait ensuite passer la bulle d'air confinée dans l'ampoule, en chauffant légèrement celle-ci ; après quoi, on laisse arriver à sa suite le globule de mercure, qui l'emprisonne dans la tige. — Dans les mouvements d'expansion que prend le métal sous l'influence de l'élévation de température, la bulle d'air obéit à l'impulsion qui lui est communiquée par la colonne mercurielle: mais elle ne la suit pas dans son retrait vers le réservoir, quand la température s'abaisse. Il en résulte que l'instrument continue à marquer le *maximum* de température, auquel il a été soumis pendant qu'il était, ou plongé dans la profondeur des organes, ou exposé à un jet de sang, ou, en un mot, placé dans de telles conditions que la lecture directe des indications n'était pas alors possible. — Il est presque inutile d'ajouter que, dans l'appréciation du degré thermométrique *maximum*, on doit tenir compte de la moindre longueur occupée par la bulle d'air : elle est facile à mesurer pendant la marche ascensionnelle de la colonne mercurielle, alors que cette colonne la pousse devant elle. Supposons, par exemple, qu'à ce moment, cette bulle occupe deux des divisions tracées sur la tige : la température *maximum* sera donnée en retranchant deux divisions, à partir de l'extrémité supérieure de la bulle d'air, au point où elle est limitée par le globule de mercure. — Cet instrument est susceptible de donner un *cinquantième* de degré.

Walferdin a encore imaginé un thermomètre à maximum et métastatique tout à la fois, beaucoup plus sensible que le précédent. — Enfin, nous devons aussi mentionner le thermomètre *différentiel* à alcool, avec index de mercure, qui donne un *millième* de degré, et peut rendre encore appréciables des différences entre des températures si voisines les unes des autres.

(*a*) On sait que ce nom est réservé à un thermomètre construit avec les soins les plus minutieux et éprouvé par des vérifications aussi rigoureuses que multipliées.

(1) *Bulletin de la Société géologique*, t. II, p. 83.

n'exercent aucune pression notable sur le thermomètre, que l'on aura eu soin de choisir à réservoir de forme cylindrique et de même diamètre que la tige.

Le refroidissement par *rayonnement* est assez important à éviter, pour que John Davy ait cru devoir prendre la précaution, dans l'exploration des régions superficielles, de loger le réservoir de son instrument au sein d'une gouttière de liége garnie de laine fine. Par cette disposition simple, la portion de ce réservoir qui ne touchait pas le corps était protégée à la fois contre le rayonnement extérieur et contre le *contact* de l'air.

Pour ce qui est du refroidissement par *évaporation*, il a lieu particulièrement dans le cas où le thermomètre, placé dans la bouche, se trouve exposé au courant d'air, qui, non-seulement le refroidit en agissant par contact direct, mais encore en rendant plus active l'évaporation de l'humidité déposée à la surface du réservoir et de la tige. — Pour obvier à ces inconvénients, la bouche doit être maintenue close, pendant toute la durée de l'observation, la respiration se faisant alors par les cavités nasales.

Quant au lieu d'application de l'instrument, il varie suivant les auteurs, suivant le but que l'on se propose, suivant aussi l'animal observé. — L'*aisselle*, la *bouche*, le *rectum*, ont été généralement adoptés pour l'homme et les mammifères; le *cloaque*, pour les oiseaux ; la *bouche* ou l'*anus*, pour les poissons, etc. — On a quelquefois choisi l'*urèthre* et le *vagin*, pour en étudier la température dans des conditions déterminées sur lesquelles nous aurons à revenir.

L'exploration des parties profondes peut être faite à l'aide de thermomètres d'un très petit volume : mais, en opérant ainsi, il est difficile, si ce n'est même impossible, de ne pas faire subir aux animaux des mutilations plus ou moins étendues, qui compliquent les résultats et multiplient les chances d'erreurs. — Il est préférable de recourir alors aux *aiguilles thermo-électriques* (*).

(*) C'est à NOBILI et MELLONI qu'est due la première idée de faire servir la *thermo-électricité* à la mesure de la chaleur animale : mais l'appareil employé par ces physiciens ne leur permettait d'expérimenter qu'avec des animaux d'un très petit volume, dont ils dirigeaient les radiations calorifiques, soit directes, soit réfléchies, par un petit miroir sphérique, sur une des faces de leur *thermo-multiplicateur*. — Malgré les résultats curieux obtenus par ces savants et communiqués à l'Académie des sciences de Paris, en septembre 1831, cette méthode paraissait frappée de stérilité, quand BECQUEREL, conservant le principe, mais modifiant de la manière la plus heureuse l'appareil à employer, le rendit applicable aux recherches les plus variées et les plus étendues. En collaboration avec BRESCHET, il réussit à mesurer, chez l'homme lui-même, la température des organes profondément situés. — DUTROCHET, de son côté, étudia la température d'un grand nombre d'animaux et de végétaux, à l'aide de ces mêmes instruments, qui consistent en deux aiguilles métalliques *mixtes*, c'est-à-dire formées chacune d'un fil de cuivre et d'un fil d'acier soudés l'un à l'autre : tantôt la soudure occupe la partie moyenne de l'aiguille (Becquerel et Breschet) : tantôt, au contraire, elle est située à l'une des extrémités (Dutrochet). Pour se servir de ces aiguilles, on en introduit une par le procédé ordinaire de l'acupuncture, dans l'organe qu'il s'agit d'explorer, et l'on place l'autre dans un milieu à température constante et voisine de celle à laquelle doit être soumise la première aiguille. S'agit-il, par exemple, de recherches à faire sur les muscles d'un homme adulte, on y implante cette première aiguille, et la seconde est placée sous la langue du sujet : il est bien entendu que le placement et l'implantation doivent se faire de manière à mettre les soudures en présence des parties dont la chaleur peut subir quelque variation. Les bouts libres d'acier des aiguilles sont réunis par un fil de même métal, et ceux de cuivre sont mis en communication avec un galvanomètre. Tant que les soudures des deux aiguilles mixtes sont à la même température, l'aiguille du galvanomètre reste immobile ; mais, dès que l'équilibre est rompu, elle se déplace, et, par le sens et par l'intensité de la déviation qu'elle éprouve, elle donne la mesure de la différence qui existe dans la température des deux milieux, et, par conséquent, le degré thermométrique de celui qui a varié, l'autre étant connu et supposé constant. — Il est presque superflu de faire observer que les indications fournies par l'appareil dont nous parlons, peuvent et doivent être transformées en valeurs du thermomètre centigrade à l'aide d'expériences comparatives faites avec ce dernier instrument. Nous aurons soin de n'employer que ces valeurs ainsi transformées, quand nous aurons à citer les résultats obtenus avec les aiguilles thermo-électriques.

Ces appareils sont d'une extrême sensibilité et permettent d'apprécier les plus légères variations de température : celui qu'employait Dutrochet (1) lui donnait une approximation équivalente à *un quatre-vingtième* de degré centigrade. De plus, ils se prêtent à une plus grande variété de recherches et à des applications beaucoup plus nombreuses que ne peuvent le faire les thermomètres, ceux même qui sont construits avec la plus grande perfection. La facilité avec laquelle on les fait pénétrer dans la profondeur des tissus, sans altérer notablement la continuité de ceux-ci, rend raison de cette supériorité. Mais ils demandent à être appliqués par une main exercée, qui seule est capable d'éloigner et de neutraliser les nombreuses causes d'erreur inhérentes à leur exquise sensibilité.

Les recherches thermométriques, entreprises d'une manière suivie sur les animaux appartenant aux différentes classes, ne remontent guère au delà du siècle dernier : malgré leur date relativement récente, elles ont enrichi la science d'un grand nombre de résultats aussi importants qu'inattendus. Avant d'exposer ces résultats, il y a lieu d'examiner les méthodes mises en usage pour mesurer la totalité de la chaleur émanée du corps vivant dans un temps donné.

Les méthodes employées dans ce but, c'est-à-dire en *calorimétrie*, sont *directes* ou *indirectes*.

La méthode directe, imaginée par Lavoisier, consiste à faire produire par l'animal en expérience tout l'*effet calorifique* dont il est capable, et à mesurer cet effet en tenant compte du temps employé à le produire. Lavoisier a fixé les conditions de ce procédé d'expérimentation et l'a mis en pratique dans le travail qui lui est commun avec Laplace (2) :

Un cochon d'Inde fut placé dans un calorimètre rempli de glace à 0° et construit de façon à permettre d'entretenir, d'une manière continue, un courant d'air pur autour de l'animal. Celui-ci, après un séjour de *dix heures* consécutives dans ce milieu, avait, par sa seule présence, et en vertu de la chaleur issue de son corps, déterminé la fonte de 402gr,27 de glace. Mais, durant son séjour prolongé au sein de cette atmosphère à 0°, le cochon d'Inde ne s'était pas maintenu à sa température initiale : il avait subi un refroidissement notable par la périphérie de son tronc et par ses extrémités. De plus, les exhalaisons de son corps s'étaient condensées et mises en équilibre de température avec le milieu ambiant : cette condensation avait aussi donné lieu à un dégagement de chaleur. — Lavoisier crut pouvoir évaluer à 61gr,19 de glace fondue les effets représentatifs de cette double cause, ce qui réduisait à 341gr,08 le chiffre correspondant à la chaleur produite par l'animal pour se maintenir, pendant toute la durée de l'expérience, à sa température *normale*.

Dans une autre expérience exécutée sur un animal de la même espèce, Lavoisier avait été conduit à admettre, d'après la proportion d'*acide carbonique* exhalé dans l'acte respiratoire, qu'un cochon d'Inde brûle en dix heures 3gr,333 de carbone, et que la chaleur dégagée par cette combustion est capable de faire fondre 326gr,75 de glace.

Rapprochant ce chiffre de celui qu'il avait obtenu dans l'expérience précédente et qui lui avait donné 341gr,08 comme représentant, en glace fondue, la chaleur perdue

(1) *Annales des sciences naturelles* (Botanique), 2e série, t. XIII, p. 5.
(2) *Mémoires de l'Académie des sciences de Paris*, 1780, p. 467.

par un autre cochon d'Inde, Lavoisier reconnut que ces chiffres sont liés l'un à l'autre par le rapport suivant : $\frac{326,75}{341,08} = 0,96$. — Ce résultat important, bien qu'il le regardât lui-même comme imparfait, puisqu'il n'y avait pas compensation exacte entre la chaleur *produite* et la chaleur *dépensée*, lui parut néanmoins assez positif, pour qu'il se crût en droit de dire : « Lorsque les circonstances dans lesquelles un animal se trouve n'altèrent pas sensiblement son sang et ses humeurs, de sorte qu'après plusieurs heures le système animal n'éprouve point de variation sensible, la conservation de la chaleur animale est due, au moins en grande partie, à la chaleur que produit la combinaison de l'air pur (*oxygène*) respiré par les animaux avec la base de l'air fixe (*carbone*) que le sang lui fournit (1). » — Ce n'est qu'ultérieurement que Lavoisier admit, et encore sous forme hypothétique, « qu'*une portion d'air vital* (oxygène) *se combine avec une portion d'air inflammable* (hydrogène) *pour former de l'eau* (2). »

Nous reviendrons sur ces recherches de Lavoisier, auxquelles nous avons déjà fait de nombreux emprunts (*), lorsqu'il s'agira de tracer un aperçu historique des travaux relatifs à la chaleur animale.

La méthode mise en usage par Lavoisier a été adoptée par Despretz et par Dulong, dans les expériences qu'ils ont entreprises à l'occasion du prix proposé, pour le concours de 1822, par l'Académie des sciences de Paris, et dont le sujet était de déterminer les *sources de la chaleur animale*. — D'après le programme, on devait comparer la chaleur développée, pendant un temps déterminé, par un animal à sang chaud, avec la chaleur résultant de la formation de l'acide carbonique et de l'eau produite, durant le même temps, dans la respiration du même animal ; de plus, il fallait évaluer avec précision, par de nouvelles recherches, la chaleur dégagée dans la combustion du carbone et de l'hydrogène (**).

L'appareil imaginé et employé par Despretz, pour mesurer la chaleur animale, se compose essentiellement de trois parties : deux gazomètres et une boîte intermédiaire. Dans cette dernière se trouve placé l'animal en expérience, auquel l'air neuf est fourni par l'un des gazomètres, tandis que l'air modifié par la respiration se rend dans l'autre. — La boîte est de cuivre, et de dimensions suffisantes pour que l'animal n'y soit point gêné : elle est hermétiquement fermée, et plonge dans une caisse également de cuivre, pleine d'eau pure, dont la température, au commencement et à la fin de l'expérience, est déterminée avec le plus grand soin, aussi bien que le poids de ce liquide et celui de tout le cuivre

(1) *Loc. cit.*
(2) *Histoire de la Société royale de médecine*, 1782, p. 374.

(*) Voir ci-dessus, page 819 et suiv.

(**) N'ayant point à entrer ici dans des détails sur ce point de physique expérimentale, nous nous bornons à indiquer les valeurs qui sont aujourd'hui le plus généralement adoptées. En même temps, et pour l'intelligence de ce qui va suivre, nous donnons les définitions relatives à la calorimétrie.

On appelle *calorie*, la quantité de chaleur nécessaire pour faire varier d'*un degré* la température d'un kilogramme d'eau distillée. — La chaleur de combustion du *carbone*, pour former de l'*acide carbonique*, est égale à 8080 *calories* (Favre et Silbermann), et la chaleur de combustion de l'*hydrogène*, pour former de l'eau, est de 34462 *calories* (Favre et Silbermann) ; c'est-à-dire que 1 kilogr. de carbone, en brûlant, élève de 1 degré 8,080 kil. d'eau distillée, tandis que 1 kilogr. d'hydrogène, en brûlant, élève de 1 degré 34,462 kilogr. du même liquide.

La chaleur de fusion de la *glace* est de 79,2 *calories* (moyenne des nombres donnés par V. Regnault d'une part, de la Provostaye et Desains de l'autre). — La chaleur de vaporisation de l'eau est de 536,21 *calories* (moyenne des valeurs données par Regnault, et par Favre et Silbermann).

de l'appareil. — Pour plus d'exactitude, l'air qui a servi à la respiration est recueilli sur le mercure. — Des thermomètres, convenablement disposés, donnent très exactement la température de ce fluide à l'arrivée et à la sortie. Un manomètre guide l'opérateur, qui veille à ce que la pression soit égale au dedans et au dehors de l'appareil. Enfin, l'analyse fait connaître directement la quantité d'acide carbonique formé et d'oxygène absorbé pendant la durée de l'expérience.

Ces données suffisent pour obtenir les éléments du problème qu'il s'agit de mettre en équation, à savoir : la *quantité de chaleur produite et la quantité de chaleur perdue par l'animal pendant son séjour dans l'appareil.*

La chaleur produite a sa source dans la combustion du carbone et dans celle de l'hydrogène des matières organiques du sang, double combustion de laquelle résultent l'acide carbonique et en partie l'eau exhalés dans l'acte respiratoire. La proportion de carbone se déduit de celle de l'acide carbonique, qui a pu être recueilli et mesuré exactement. Pour celle de l'hydrogène, on la calcule d'après le chiffre de l'oxygène qui lui correspond, et que l'on trouve en retranchant de la totalité de l'*oxygène* qui a disparu la portion qui a servi à former l'acide carbonique. Une fois en possession de ces deux valeurs, on les multiplie, chacune en particulier, par le chiffre exprimant la chaleur de combustion de l'élément correspondant, et la somme de ces deux nombres donne le chiffre de la chaleur produite par l'animal.

Quant à la chaleur qu'il a perdue, la valeur en est exprimée directement par l'élévation de température éprouvée par l'eau du calorimètre, toutes corrections faites pour les enveloppes (1).

Ce qu'on doit remarquer dans ce travail de Despretz, dont les conclusions s'appuient sur plus de deux cents expériences exécutées de 1822 à 1824, avec des mammifères et des oiseaux, c'est que, d'une part, l'auteur a eu soin, conformément au programme académique, de déterminer, par des recherches spéciales et directes, la chaleur de combustion du carbone et celle de l'hydrogène ; et que, d'autre part, ayant eu la précaution de recueillir les gaz sur le mercure à leur sortie de l'appareil, il a pu éviter les pertes d'acide carbonique inhérentes à l'usage d'une cuve à eau. — Dans aucune de ses expériences, Despretz n'a trouvé la chaleur produite par la respiration, inférieure à 0,70, ni supérieure à 0,90, la chaleur totale émise par l'animal étant représentée par l'unité ; et même la première de ces valeurs n'a-t-elle été observée que sur de très jeunes animaux, qui perdent quelquefois rapidement une portion de leur chaleur propre.

Pour ce qui est des autres phénomènes que Despretz a encore signalés à l'attention des physiologistes, et, en particulier, de l'*exhalation* de l'*azote*, nous en avons déjà parlé à propos de la *respiration* (page 543).

Dulong (2) a traité, à la même époque que Despretz, la question proposée par l'Académie des sciences, et il s'est servi d'un appareil qui ne diffère pas essentiellement de celui qui précède. — Les chiffres qu'il a obtenus sont inférieurs à ceux qui sont rapportés dans le travail de Despretz : pour Dulong, la chaleur produite par la respiration a oscillé entre 0,69 et 0,83.

Le défaut de compensation que les expériences de ces deux physiciens accusent entre la chaleur produite par la double combustion qui a lieu dans l'acte respi-

(1) Pour les détails de l'appareil et des expériences, consulter le *Traité de physique* de Despretz, édition de 1836, p. 899 et suiv. — Idem, *Annales de chimie et de physique*, 2e série, t. XXVI, p. 362.

(2) *Annales de chimie et de physique*, 3e série, t. I, p. 440.

ratoire pendant la durée de l'expérience, et la chaleur perdue par l'animal pendant le même temps, tient aux chiffres qu'ils ont adoptés pour la chaleur de combustion du carbone et de l'hydrogène.

Si, dans le calcul des résultats obtenus, on substitue à ces chiffres ceux que nous avons cru devoir emprunter aux recherches les plus récentes (*), on voit diminuer l'importance des écarts signalés, à tel point que, pour les expériences de Despretz, la moyenne générale, qui était de 0,81, devient 0,92 ; et, pour celles de Dulong, cette moyenne s'élève de 0,75 à 0,90. — On peut donc conclure, d'après ces résultats corrigés, que la chaleur produite par la double combustion est assez exactement représentée par celle qui se trouve cédée au calorimètre. — Notons néanmoins qu'il résulte de travaux ultérieurs, dus principalement à la collaboration de Favre et Silbermann, que la quantité de chaleur dégagée par le carbone et l'hydrogène, quand ils s'unissent à l'oxygène pour former de l'acide carbonique et de l'eau, varie tantôt en plus, tantôt en moins, suivant que ces éléments sont libres ou déjà engagés dans quelque combinaison. De là cette conséquence, que le calcul basé sur la proportion d'acide carbonique et d'eau recueillis dans l'acte respiratoire ne peut conduire que d'une manière plus ou moins approximative à la connaissance de la quantité de chaleur produite par cet acte important.

A la suite des travaux de Despretz et de Dulong, nous devons rappeler, comme appartenant aussi à la mesure de la chaleur animale, par la méthode *directe*, les recherches de Regnault et Reiset. Celles d'Andral et Gavarret, et celles de Scharling, peuvent également être rangées dans cette catégorie. — Mais nous croyons inutile de revenir sur ce que nous en avons déjà dit (p. 536 et suiv.) dans le chapitre consacré à la *respiration*.

Nous renvoyons également le lecteur à ce même chapitre, pour tout ce qui concerne la méthode *indirecte*, instituée par Boussingault et suivie par Barral.

Bornons-nous à faire remarquer ici combien est féconde l'alliance de ces deux méthodes : en effet, si par la *méthode directe*, on arrive à connaître rigoureusement la quantité d'oxygène consommée par un animal dans un temps donné, par la *méthode indirecte* on est conduit à la mesure précise des quantités de carbone et d'hydrogène brûlées par l'oxygène absorbé. — La concordance des valeurs obtenues par des voies aussi essentiellement différentes est une garantie de leur exactitude et de la confiance qu'elles méritent.

Toutefois les dispositions adoptées par Lavoisier, et celles qu'ont suivies Despretz et Dulong, ont le grave inconvénient de n'être applicables qu'à des animaux de petite stature. La même objection peut être faite à l'emploi de l'appareil de Regnault et Reiset. Pour ce qui est de celui de Scharling, nous avons déjà signalé (p. 539) les graves reproches qu'on est en droit de lui adresser. — Ces considérations font attendre, avec quelque impatience, les recherches entreprises par Bischoff, à l'aide d'un nouvel appareil construit par Pettenkofer, sur de grandes dimensions, appareil qui, dit-on, permet de doser avec exactitude l'eau et l'acide carbonique issus par les poumons et la peau (1). — Jusqu'à présent, celui dont Andral et Gavarret se sont servis réalise d'une manière satisfaisante les con-

(*) Voir ci-dessus la note de la page 1085.

(1) *Archives générales de médecine*, 1860, t. XVI, p. 147.

ditions les plus rapprochées de l'état normal, du moins pour ce qui regarde les recherches à faire sur l'homme et les grands animaux.

Quant à la méthode des *analyses par proportions centésimales* de l'air inspiré et de l'air expiré, nous avons déjà indiqué les chances d'erreur qu'elle comporte, à raison de l'incertitude des bases sur lesquelles elle repose, et de l'importance des éléments dont elle ne tient pas compte (*) : toutefois, comme cette méthode n'offre aucune difficulté sérieuse d'application à l'espèce humaine, elle a été fréquemment mise en usage, et les résultats qu'en ont obtenus Goodwyn, H. Davy, Dumas, etc., méritent d'être pris en considération, à la condition d'être contrôlés par les résultats qu'ont fournis les autres méthodes.

Est-il possible d'évaluer numériquement la chaleur produite chez les êtres vivants ? Pour répondre à cette question, il nous faut revenir sur les faits précédemment établis.

Rappelons, d'abord, que l'être vivant est incessamment le siége d'actions chimiques et physiques qui se passent dans la profondeur de ses tissus, et dont l'objet est d'assurer l'entretien ou le développement de ces derniers. Le double mouvement qui s'opère alors, consiste dans l'assimilation des éléments nouveaux et dans l'élimination des anciens devenus impropres à faire partie de la trame organique. Ces derniers sont rejetés de l'économie sous différentes formes, tels que l'acide carbonique, l'eau, l'urée, etc.

L'acide carbonique et la portion d'eau qui provient de la transformation des tissus sont dus à l'action de l'oxygène de l'air sur le carbone et l'hydrogène des matériaux organiques destinés à être éliminés. La chaleur dégagée dans cette double combustion n'est autre que la *chaleur propre*, dont nous cherchons à donner une évaluation numérique. Cette évaluation ne présente aucune difficulté, si l'on met en regard du chiffre de l'acide carbonique produit, celui de l'oxygène absorbé : la portion de ce dernier, qui n'a pas été employée à former de l'acide carbonique, a dû servir à donner naissance à de l'eau. Connaissant ainsi les quantités de carbone et d'hydrogène brûlés dans un temps donné, on arrive assez exactement à évaluer la chaleur produite, en multipliant chacune de ces quantités par le coefficient de chaleur de combustion qui lui correspond. Ainsi, pour un homme adulte, par exemple, si l'on admet que le poids du carbone brûlé s'élève, en moyenne, à 240 grammes et celui de l'hydrogène à 16 grammes, dans les vingt-quatre heures, en multipliant 240 grammes ou $0^{kil.},240$ par 8080, d'une part, et, de l'autre, 16 grammes ou $0^{kil.},016$ par 34462, on trouve 1939,20 *calories* pour le carbone et 551,39 pour l'hydrogène, c'est-à-dire un total de 2490,59 calories produites en vingt-quatre heures par la double combustion respiratoire.

Toutefois il ne faut pas oublier que ce chiffre n'est acceptable, même à titre de valeur approximative, qu'autant que l'on a noté avec soin la quantité de l'oxygène absorbé dans la respiration. En effet, il peut se faire que l'on trouve, dans les gaz expirés, une portion d'acide carbonique qui aurait pris naissance dans les réactions établies entre les principes immédiats fournis au sang par les substances alimentaires, et par conséquent, qui n'aurait rien de commun avec l'acide carbonique engendré par la combustion directe du carbone du sang par l'oxygène atmosphérique. Dans la production de cet acide, comme dans toutes les trans-

(*) Voir ci-dessus, page 524.

ormations des substances animales en d'autres matières appelées à remplir dans l'économie certains usages spéciaux, il doit y avoir tantôt dégagement, tantôt absorption de chaleur. Bien plus, comme l'action comburante de l'oxygène inspiré s'exerce sur du carbone et de l'hydrogène engagés dans des composés ternaires ou quaternaires, la chaleur résultant de cette double combustion doit être fort différente de ce qu'elle serait si ces mêmes corps se trouvaient à l'état de liberté. Aussi, tout en admettant que la chaleur propre des êtres vivants, et, en particulier, des animaux, prend exclusivement sa source dans les réactions chimiques dont l'économie est le siége, on doit reconnaître que la complexité du phénomène ne permet pas, quant à présent, d'évaluer numériquement et avec précision la chaleur produite, en basant ses calculs sur les quantités d'oxygène absorbé et l'acide carbonique exhalé dans l'acte respiratoire.

Nonobstant cet aveu, on peut regarder comme fort utiles, pour la solution du problème dont il s'agit, les résultats numériques obtenus jusqu'à présent dans les conditions qui viennent d'être rappelées. Si ces résultats n'ont rien d'absolu, ils peuvent du moins servir à établir certaines relations entre les causes qui modifient les phénomènes chimiques de la respiration et les variations correspondantes de la chaleur animale. De plus, en les rapprochant de ceux auxquels conduisent les investigations thermométriques, on voit se confirmer de plus en plus les idées formulées par Lavoisier et développées par ses successeurs, sur les sources de la chaleur propre des êtres vivants.

Mais la science ne saurait borner là ses prétentions. On sait aujourd'hui, grâce à la méthode *indirecte* instituée par Boussingault, quels sont les points à éclaircir. L'analyse comparative des aliments et des matières excrémentitielles, chez un animal soumis à la ration d'entretien, fait connaître d'une manière rigoureuse, en nature et en poids, ce que cet animal a perdu par la peau et les voies respiratoires, pendant toute la durée de l'expérience : faisant intervenir ici la méthode *directe* de Lavoisier, employée ultérieurement par Dulong, Despretz, Regnault et Reiset, etc., on saura combien d'oxygène a été absorbé, combien d'acide carbonique, d'eau et d'azote a été exhalé. — Avec ces données, il sera possible de calculer rigoureusement le poids des principes immédiats *ternaires* transformés complétement en acide carbonique et en eau ; celui des principes *quaternaires* ou albuminoïdes qui ont subi la même transformation et fourni l'azote mis en liberté ; enfin, le poids de ces mêmes principes changés, sous l'influence de l'oxygène, en matières excrémentitielles azotées (urée, acides urique, cholique, choléique, etc.). Il ne reste plus, pour posséder tous les éléments nécessaires à l'évaluation numérique de la chaleur produite dans ces différentes combustions, soit complètes, soit incomplètes, qu'à déterminer expérimentalement ce qui appartient à chacune d'elles en particulier. Ce problème, déjà résolu à l'égard de quelques-unes, est d'un intérêt trop élevé pour ne pas appeler, dans un prochain avenir, des investigations nouvelles.

La chaleur produite chez les êtres vivants dans les précédentes conditions, se perd au fur et à mesure qu'elle se développe. Cette perte a lieu par le *rayonnement*, par le *contact du milieu ambiant*, et enfin par l'*évaporation de l'eau* qui entre dans la composition des humeurs et des tissus, c'est-à-dire par la *transpiration*.

Dans la méthode calorimétrique instituée par Lavoisier, les effets de ces trois

ment à la surface intérieure du vase, dans toute l'étendue de sa paroi ; mais elle resta fluide à une certaine distance des poissons : on ajouta alors, à plusieurs reprises, de la neige glacée en assez grande quantité pour épaissir la totalité du liquide. Comme cette neige se fondait autour de chaque carpe, à mesure qu'on l'ajoutait, on finit par exposer le tout à l'air libre, dans une cour, afin d'obtenir la congélation sous la double influence du mélange réfrigérant et du froid atmosphérique.

La mesure directe de la chaleur propre de ces mêmes poissons a donné des résultats très variables suivant les observateurs : Bonfiva (1) a obtenu le chiffre de 3°; J. Hunter (2), celui de 1°,95 ; Despretz (3) n'est arrivé qu'à 0°,86, Breschet et Becquerel, à 0°,50; enfin, Braun (4) assure n'avoir trouvé aucune différence entre la température des carpes sur lesquelles il expérimentait et celle du milieu environnant.

Il n'est guère possible d'admettre que la chaleur propre de ces animaux offre normalement des variations aussi étendues : celles-ci ont dû tenir aux conditions diverses dans lesquelles les observateurs se sont placés, aux instruments et aux méthodes qu'ils ont mis en usage, non moins qu'aux précautions dont ils ont su plus ou moins s'entourer pour éviter les causes d'erreur.

Dutrochet a fait, à l'aide d'aiguilles thermo-électriques, de nombreuses expériences sur la température des poissons, en ayant soin de ne pas tirer hors de l'eau ceux qu'il observait : il en a déduit, comme conclusion définitive, que les animaux de cette classe possèdent aussi une *chaleur propre*, mais que cette chaleur est trop faible pour être appréciable à nos moyens d'investigation.

L'observation suivante, que l'on doit à Martins (5), vient à l'appui de cette opinion. Un thermomètre de Walferdin, accusant aisément 0°,04 et se mettant rapidement en équilibre de température avec le milieu ambiant, fut introduit jusqu'à l'affleurement de la colonne mercurielle dans l'anus d'une *morue* pêchée avec une ligne de fond de 47 mètres de longueur : d'après quelques déterminations qui venaient d'être faites, la température de la mer, à cette profondeur, devait être de 3°,50; celle du poisson accusée par l'instrument, placé comme il vient d'être dit, n'était que de 3°,15 : mais, dans les branchies, elle oscillait entre 3°,39 et 4°,48, sous l'influence de l'afflux saccadé du sang veineux, de l'engorgement du réseau capillaire et du mouvement intermittent des opercules. — C'est à des causes analogues que doit être attribué l'excès de 6°,11 à 7°,22, observé par J. Davy (6) sur plusieurs *pélamides*, qui lui offrirent 22°,78 à 23°,89, le courant sous-marin dans lequel nageaient ces poissons n'étant qu'à 16°,67 : il en est de même de celui de 10°,55 trouvé par cet habile observateur (7) chez une *bonite* des tropiques (*Scomber pelamys*), dont la chaleur propre atteignit 37°,22, tandis que la température de la mer ne montait qu'à 26°,67. Dans ces expériences, les animaux n'étaient pas seulement arrachés aux conditions normales de leur existence, ils étaient, de plus, soumis à des mutilations, qui ne pouvaient manquer d'accroître momentanément l'afflux du sang dans les parties qui en étaient le siége, et, par conséquent, d'en élever la température au delà des limites physiologiques.

(1) *Mémoires de l'Académie des sciences de Turin*, ann. x et xi, t. XII, p. 88.
(2) *Ouvr. cit.*, t. IV, p. 220.
(3) *Ann. de chim. et de phys.*, 2e série, t. XXVI, p. 338.
(4) *Nova comment. Acad. Petrop.*, t. XIII.
(5) *Annales des sciences naturelles* (Zoologie), 3e série, t. V, p. 187.
(6) *Annales de chimie et de physique*, 3e série, t. XIII, p. 174.
(7) *Ibid.*, 2e série, t. XXXIII, p. 195.

Quant à la chaleur propre que possèdent les ANIMAUX INVERTÉBRÉS, elle est facile à mettre en évidence, lorsqu'on les observe réunis en nombre plus ou moins considérable : mais, sur les individus isolés, on n'arrive à en constater l'existence qu'à l'aide de précautions minutieuses et multipliées, destinées à neutraliser les causes d'erreur que l'évaporation et le contact des corps extérieurs ne manquent jamais d'introduire dans les résultats.

Entre tous les exemples que l'on pourrait citer pour établir que les *Articulés* ont une chaleur propre, nous choisirons ceux qu'ont observés V. Regnault (1) et, avant lui, F. Huber (2).

V. Regnault a vu qu'un thermomètre maintenu au milieu d'un grand nombre de hannetons (*Melolontha vulgaris*), renfermés dans un sac à claire-voie, indiquait une température supérieure de 2° à celle de l'air ambiant. Quant à Huber, voulant étudier les effets de la privation d'air respirable sur les abeilles contenues dans une ruche à parois transparentes, il choisit un moment où l'essaim était au complet et en pleine activité. Un quart d'heure après une clôture rigoureuse, ces insectes parurent en souffrance : ils s'agitèrent avec un bruit extraordinaire pendant dix minutes, puis le mouvement des ailes devint moins continu et moins rapide, les ouvrières tombèrent par milliers, et, en moins de trois quarts d'heure, la peuplade entière fut asphyxiée : « *La ruche se refroidit tout d'un coup, et du terme de* 35° (*), *la température descendit au niveau de l'air ambiant.* » On ouvrit alors la communication avec l'air extérieur : en peu de minutes, les abeilles respirèrent et battirent de nouveau des ailes ; elles remontèrent sur les gâteaux, et bientôt « la température s'éleva au degré où ces insectes savent l'entretenir habituellement ». — Ce fait curieux montre bien l'intime relation qui existe entre la respiration et la production de la chaleur propre des abeilles.

Les recherches de Newport (3) sur la chaleur propre d'un certain nombre d'insectes, considérés isolément, ont eu un retentissement considérable à l'époque de leur publication ; mais Dutrochet (4) en a fait plus tard un examen critique, et il a montré que les chiffres, beaucoup trop élevés, obtenus par l'observateur anglais, tiennent principalement aux conditions dans lesquelles il plaçait les animaux pour les observer : aussi, en changeant ces conditions, en éliminant les causes d'erreur qu'il reprochait à son devancier, est-il arrivé à des chiffres bien inférieurs, et qui paraissent plus rapprochés de la vérité. C'est ainsi qu'un *Bombyx terrestris*, qui avait offert à Newport une chaleur propre de 3°,6 à 5°,2, n'a présenté à Dutrochet que 0°,55. Chez un *Gryllus viridissimus*, le premier a trouvé de 2° à 2°,60, suivant que l'insecte était en repos ou agité, et le second n'a obtenu que 0°,31 à 0°,34. Enfin, la moyenne de vingt et une observations de Newport lui a donné 1°,49, et, selon Dutrochet, la moyenne de trente observations n'a pas dépassé 0°,35.

Ces résultats contradictoires ne doivent pas faire oublier que J. Davy (5) et

(1) *Recherches chimiques sur la respiration des animaux des diverses classes* (*Ann. de chimie et de physique*, 3e série, t. XXVI, p. 517).

(2) *Nouvelles observations sur les abeilles*, 2e édition, t. II, p. 335 à 337.

(*) Le texte dit 28°, mais, conformément à l'usage suivi de son temps, HUBER devait employer le thermomètre de Réaumur, bien qu'il n'en fasse pas la remarque.

(3) *Philosophical Transactions*, 1837, part. II, p. 259.

(4) *Annales des sciences naturelles* (Zoologie), 2e série, t. XIII, p. 5.

(5) *Ann. de chim. et de physique*, 1826, t. XXXIII, p. 196.

Dugès (1) ont observé, chez certains insectes, un excès considérable sur la température extérieure : ainsi, un *grillon* a offert au premier 22°,5, l'air n'en accusant que 16°,7 ; et le second de ces observateurs a trouvé chez le *Sphinx du caille-lait* (*Macroglossa stellatarum*, Lin.) une chaleur propre de 37°, par une température atmosphérique de 28°.

L'évaporation plus ou moins rapide dont la surface libre de la peau est le siége chez les *Annélides* et les *Mollusques* peut abaisser le chiffre de la chaleur de ces animaux de 1° au-dessous de la température de l'air qui les environne ; sous l'eau, elle ne diffère pas notablement de celle du milieu ambiant : c'est ce qu'ont démontré Berthold (2) et Dutrochet (3) sur la sangsue (*Hirudo medicinalis*) et le limaçon de vigne (*Helix pomatia*). Quant aux observations faites sur ces animaux réunis en nombre plus ou moins considérable dans un espace limité, elles prouvent qu'ils possèdent une chaleur propre. Durant l'été, B. Gaspard (4) mit dans un pot vingt-quatre limaçons de jardin, et le descendit à la cave : le thermomètre monta dans le vase de près d'un degré au-dessus de la température ambiante, qui était de 13°.

La chaleur propre des *Crustacés* pris isolément ne paraît pas appréciable : c'est, du moins, ce qui résulte des expériences faites par John Davy, Berthold et Dutrochet, sur l'écrevisse commune (*Astacus fluviatilis*).

On peut en dire autant des *Zoophytes*, malgré les résultats publiés par Valentin, qui a conclu de ses observations que, chez les animaux de cette classe, la chaleur propre oscille entre 0°,20 et 1°, et qui a donné les moyennes suivantes : 0°,21 pour les *polypes* ; 0°,27 pour les *méduses* ; et 0°,40 pour les *échinodermes*. Le même auteur a indiqué aussi comme moyennes de la chaleur propre des mollusques, 0°,46 ; des céphalopodes, 0°,57 ; des crustacés, 0°,60. Mais, ainsi que le fait remarquer Dutrochet (5), ces résultats ne présentent pas de garanties suffisantes, l'auteur n'ayant pas fait connaître les moyens qu'il a mis en usage pour se soustraire aux causes d'erreur inhérentes à ce genre d'observations. De plus, quelques-uns des résultats annoncés sont évidemment inexacts : tel est celui du chiffre de 0°,6 trouvé à la surface de la peau de l'*Aplysia leporina* observé à l'air, lequel descend à 0°,5 quand cet animal est plongé dans l'eau. L'intensité du refroidissement, qui est la conséquence de l'évaporation rapide dont la peau est le siége au contact de l'air, ne peut pas être compensée et même surpassée par l'excès de pouvoir refroidissant de l'eau, quand il s'agit d'observations faites dans les conditions ordinaires de température de ces deux milieux.

L'opinion de Dutrochet est d'ailleurs ici conforme aux résultats observés par Berthold (6), qui a constaté, sur la *sangsue* médicinale, la *limace* et le *lombric*, que la température de ces animaux est plus basse à l'air que sous l'eau, par suite de l'évaporation qui a lieu à la surface de la peau.

Enfin, les expériences faites par Ch. Martins (7) sur un grand nombre d'oursins (*Spatangus purpureus*), dans la mer du Nord, tendent à prouver que ces zoo-

(1) *Traité de physiologie comparée*, note de la page 49, t. II, 1838.
(2) *Nouvelles observations sur la température des animaux a sang froid*. Gœttingen. 1835.
(3) *Loc. cit.*
(4) *Journal de physiologie expérimentale* de MAGENDIE, t. II, p. 312.
(5) *Loc. cit.*
(6) *Ouvr. cit.*
(7) *Annales des sciences naturelles* (Zoologie), 3e série, 1846, t. V, p. 187.

phytes ont une température peu différente de celle de l'*eau* dans laquelle ils vivent, et, de plus, qu'ils se mettent très promptement en équilibre thermométrique avec le milieu ambiant.

Dutrochet (1), dont l'autorité en pareille matière ne saurait être révoquée en doute, conclut de ses recherches que « la respiration de l'air élastique donne lieu à un plus grand développement de chaleur vitale que ne le fait la respiration de l'air dissous dans l'eau. » Ce qui se passe chez les *insectes*, dont les organes respiratoires sont très développés, vient à l'appui de cette proposition. Leur chaleur propre atteint, lorsqu'ils sont à l'état parfait, un chiffre supérieur à celui que l'on observe chez tous les autres animaux à basse température. D'un autre côté, ceux de ces animaux qui respirent par des branchies, offrent une chaleur vitale tellement faible, qu'il est souvent très difficile, sinon impossible, de l'apprécier à l'aide de nos instruments thermométriques.

Ce rapport intime de la chaleur propre des êtres vivants avec la respiration, rapport que nous avons déjà signalé, nous conduit à admettre *à priori* l'existence de cette chaleur partout où il y a vie, si obscure soit-elle. En conséquence de cette loi, les *œufs* doivent en être doués du moment qu'ils sont fécondés. C'est effectivement ce qui a lieu : de même que les expériences de Baudrimont et Martin Saint-Ange (2) prouvent qu'ils sont alors le siége des actes chimiques caractéristiques de la respiration, à savoir, de l'absorption de l'oxygène et du dégagement de l'acide carbonique, de même aussi les observations de J. Hunter (3) établissent qu'ils produisent en même temps de la chaleur, car ils opposent à l'action d'un mélange réfrigérant plus de résistance que ne le font les œufs de même espèce quand ils n'ont pas reçu la vie avec la fécondation. Ajoutons que la température de ceux-ci reste inférieure de plus de 1° à celle des premiers, quand les uns et les autres sont soumis comparativement à l'incubation.

Si maintenant des animaux nous passons aux PLANTES, nous trouvons que les mêmes causes conduisent à des résultats identiques.

Nous avons vu en effet, en traitant de la *respiration*, que, dans les plantes, outre l'action réductrice exercée par les parties vertes sous l'influence de la lumière, et généralement regardée comme leur véritable phénomène respiratoire, il existe aussi une autre série de faits dépendants d'une *action comburante*, et éminemment remarquables par leur analogie avec ceux de la respiration des animaux. Comme conséquence de cette dernière action, on voit également se produire une élévation de température qui, dans certains cas, est même très considérable. La production de chaleur dans les végétaux, en pleine activité vitale, a été bien étudiée surtout par Dutrochet ; il a constaté, à l'aide d'expériences très délicates, que, dans les *parties vertes*, cette chaleur ne peut guère surpasser un quart ou un tiers de degré centigrade, et n'est bien souvent que d'un dixième ou d'un douzième de degré. Dans les *fleurs*, au contraire, on a observé des températures parfois très élevées : la floraison est, en effet, accompagnée d'un échauffement des diverses parties de la fleur, et la famille des *aroïdées* sur-

(1) *Loc. cit.*, p. 54.
(2) *Études anatomiques et physiologiques sur le développement du fœtus.* (Mémoire qui a remporté le grand prix des sciences physiques en 1846.)
(3) *Loc. cit.*, t. IV, p. 223 et 220.

tout offre ce phénomène porté à un haut degré d'intensité, puisqu'il est telle observation où l'on a reconnu une différence de plus de 20° au-dessus de la température ambiante.

Il importe de faire observer que cette chaleur ne se montre pas d'une manière continue, mais bien avec le caractère de paroxysmes, dont le maximum correspond à l'accroissement d'activité de l'absorption d'oxygène. Pour le spadice de l'*Arum maculatum*, l'élévation de la température locale se manifeste deux jours avant l'ouverture de la spathe; elle augmente progressivement, et, le premier jour de la floraison, elle atteint son degré le plus élevé : la partie supérieure et renflée en massue du spadice en est le siége principal ; la spathe s'épanouit rapidement. Le paroxysme du second jour est moins intense; il a lieu avant midi, et même se produit dans la plus complète obscurité : il se manifeste dans les fleurs mâles et préside à l'émission du pollen. A partir de ce moment, la chaleur diminue d'une manière graduelle (1).

L'inégale distribution de cette chaleur accidentelle coïncide avec des différences correspondantes dans les proportions d'oxygène absorbé et d'acide carbonique formé : « Le cornet de l'*arum* détruit *cinq fois* son volume de gaz oxygène; la massue en détruit *trente fois* son volume, et, dans la partie de cette massue qui porte les organes sexuels, l'effet a été jusqu'à *trente-deux fois* (2). » Après la floraison, tout rentre dans l'ordre accoutumé, absorption d'oxygène et température du spadice et de la spathe.

Vrolick et de Vriese (3) ont également constaté que, concurremment avec l'élévation de température qui se manifeste dans le spadice du *Colocasia odora*, à l'époque de la floraison, l'oxygène de l'air environnant disparaît et est remplacé par de l'acide carbonique.

Antérieurement à ces travaux, Théod. de Saussure (4) avait fait un grand nombre d'expériences pour comparer les proportions d'oxygène absorbé par les fleurs ou par les feuilles d'un certain nombre de plantes, et pour mesurer la chaleur qui accompagne cette absorption.

La chaleur produite dans ces conditions de la vie végétative peut atteindre un chiffre bien supérieur à ceux que nous venons de citer. Ainsi, Hubert (5) a constaté que, dans l'*Arum cordifolium* de l'île de France, l'air ambiant étant à 19°, la chaleur de la plante monte à 44° et même à 49°. Le maximum a lieu au lever du soleil. Nous devons ajouter que ces effets remarquables ont été obtenus en liant plusieurs spadices autour d'un thermomètre à mercure (*).

Nous ne croyons pas nécessaire de multiplier ces exemples d'une *chaleur propre* dans les plantes. Nous ferons seulement observer que ce phénomène physiologique n'a rien de commun avec l'excès de température *intérieure* que présentent, dans les saisons froides, certains arbres vivants : cet excès tient à ce qu'il

(1) DUTROCHET, *Comptes rendus des séances de l'Acad. des sciences de Paris*, t. IX, p. 781.
(2) DE CANDOLLE, *Physiologie végétale*, t. II, p. 551.
(3) *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, 1840, t. XI, p. 771.
(4) *Annales de chimie et de physique*, 2e série, 1822, t. XXI, p. 279.
(5) BORY SAINT-VINCENT, *Voyage dans les quatre principales îles des mers d'Afrique*, en 1801 et 1802, p. 67.

(*) Ici, encore, il est important de faire remarquer que les expériences d'HUBERT remontent à une époque à laquelle le thermomètre de RÉAUMUR était toujours employé par les physiciens. Il conviendrait peut-être, d'après cette observation, de substituer aux nombres 19°, 44° et 49°, ceux de 23°,75, 55° et 61°,25, qui leur correspondent en valeurs du thermomètre centigrade.

reçoivent, dans leurs tissus, une certaine quantité d'eau aspirée par les racines, à une profondeur où le sol est plus chaud que l'air atmosphérique. En été, au contraire, le sol, à cette même profondeur, est plus frais que l'air; aussi l'eau qu'y puisent les racines, et qu'on peut extraire de l'arbre ou des fruits qu'il porte, offre-t-elle parfois une remarquable fraîcheur : c'est ce qui arrive, par exemple, pour le *lait du coco* et pour certains *fruits des tropiques*. Cette conservation des qualités thermiques de la séve et des autres liquides végétaux est favorisée par la faible conductibilité du tissu ligneux pour la chaleur.

III. — Nous avons déjà posé en principe que *la chaleur propre des êtres vivants*, et en particulier des animaux, *prend exclusivement sa source dans les réactions chimiques dont l'économie est le siége.*

Or, ces réactions se passant dans la profondeur des tissus, c'est au sein des tissus eux-mêmes que se développe la chaleur qui en est la conséquence, et cela avec une intensité proportionnelle à l'énergie de ces mêmes réactions. Chez les animaux, le sang est le véhicule de la chaleur produite; aussi l'élévation de la température d'un organe est-elle intimement liée à l'abondance avec laquelle le sang y afflue dans un temps donné, les autres conditions étant supposées les mêmes, et abstraction faite de la chaleur résultant de l'action de l'organe lui-même. Que si la chaleur est, comme l'expérience le prouve, inégalement répartie dans les différents points du corps, cela dépend, d'une part, de ce que les pertes, par l'action des causes extérieures, ne sont pas partout les mêmes, et, de l'autre, de ce que tous les organes n'agissent pas avec une égale énergie et d'une manière simultanée.

On doit à John Davy (1) des recherches sur les *différences que présente la chaleur animale dans les diverses régions du corps*. Ces différences sont parfois très considérables : ainsi, dans une expérience faite sur un homme, la température de l'aisselle était de 36°,67, tandis qu'à la plante du pied on ne trouvait que 32°,22. En général, suivant J. Davy, les parties superficielles sont moins chaudes que les parties profondes; la chaleur est plus élevée dans le bassin que dans le cerveau; elle est au contraire la même, et à son maximum, dans le poumon, le cœur, le foie et les viscères voisins. Au niveau des gros vaisseaux, et surtout aux plis des articulations, elle est toujours plus considérable que dans les autres points de la surface cutanée; enfin, il y a un demi-degré en faveur du ventricule gauche du cœur sur le droit, différence un peu moindre que celle qui existe entre le sang artériel et le sang veineux.

Plusieurs de ces propositions, et notamment celle qui est relative à la supériorité du cœur gauche sur le cœur droit au point de vue de leur chaleur respective, ont été infirmées par des expériences ultérieures dont nous présenterons plus loin l'analyse.

Breschet et Becquerel (2), en se servant des aiguilles thermo-électriques qui leur permettaient d'opérer dans des conditions peu différentes de l'état physiologique, ont reconnu que le tissu cellulaire est de 1°,38 à 1°,83 moins chaud que les muscles; mais cette proposition, pour être vraie, doit s'appliquer au tissu cellulaire superficiel comparé aux muscles plus profondément situés. Le fait dont il s'agit

(1) *An Account on some Experiments on Animal Heat* (Philosoph. Transact. of Royal Society of London, 1814, t. CIV, p. 590).

(2) *Ann. des sc. natur.* (Zoologie), 2e série, 1835, t. III, p. 257, et t. IV, p. 243.

est une conséquence de la marche que suit le refroidissement du corps sous l'influence du milieu qui l'environne.

J. Hunter (1) avait déjà fait plusieurs expériences destinées à mettre en évidence la facilité avec laquelle sont affectées, par le froid extérieur, les parties plus ou moins saillantes qui s'éloignent de la masse commune, telles que les orteils, les doigts, le nez, les oreilles, la crête des oiseaux, celle du coq en particulier, etc. C'est ainsi qu'il a mesuré la température de l'urèthre à l'aide d'un thermomètre successivement enfoncé à différentes profondeurs; cette température s'élevait à mesure que l'instrument pénétrait plus avant: elle était de 33°,33 à 2cent,54, de 33°,89 à 5cent,08, de 34°,44 à 10cent,16, et enfin, au bulbe, elle atteignait 36°,11. La verge ayant été plongée dans de l'eau à 18°,33, le thermomètre ne marquait plus que 26°,11 à la profondeur de 3cent,81; tandis qu'il s'élevait à 37°, après immersion dans de l'eau à 40°, limite extrême de la chaleur locale que pouvait supporter l'homme soumis à l'expérience.

H. Roger (2) a étudié, chez les enfants, la distribution de la chaleur dans les régions superficielles et faciles à explorer au moyen du thermomètre : il a trouvé que l'*aisselle* et l'*abdomen* ne présentent, l'une par rapport à l'autre, que des différences de température presque insignifiantes; au contraire, la *bouche* et les *extrémités des membres* qui sont plus accessibles aux influences extérieures, sont toujours plus froides que le creux axillaire, d'une quantité qui varie de 0°,25 à 4° pour la première, et de 5° à 6° pour les *pieds* et les *mains*.

Les faits qui précèdent offrent assurément de l'intérêt ; mais la connaissance de la température du *sang* dans les vaisseaux artériels et veineux, dans les *viscères*, et particulièrement dans les *cavités du cœur*, est d'une tout autre importance pour l'étude de la chaleur animale.

Un grand nombre d'auteurs se sont occupés de ce problème, et les résultats qu'ils ont obtenus se sont trouvés assez concordants, lorsque les expériences ont été comparables et convenablement exécutées. Ainsi, quand l'examen du sang a été fait *dans les membres*, on a toujours constaté que *le sang artériel est un peu plus chaud que le sang veineux*. En second lieu, *les cavités droites du cœur* ont constamment offert un léger excès de température sur les *cavités gauches*, toutes les fois que l'observation a porté sur un animal vivant dont la circulation n'était pas interrompue dans les parties explorées au moyen du thermomètre, et dont la poitrine n'avait pas été ouverte assez largement pour enrayer les fonctions du cœur et des poumons.

La diminution de la température du sang veineux, dans les membres, s'explique par l'influence réfrigérante du milieu ambiant.

Mais comment se rendre compte de la chaleur plus grande de ce même sang ramené par le mouvement circulatoire aux cavités droites du cœur? A quelle source et en quel point de son trajet puise-t-il l'excès de chaleur dont il a besoin pour réparer la perte qu'il a éprouvée en traversant les parties périphériques et superficielles du corps?

Suivant Cl. Bernard (3), le sang veineux s'échauffe dans l'appareil digestif.

(1) *Ouvr. cit.*, p. 214.

(2) *De la température chez les enfants à l'état physiologique et pathologique* (*Archives générales de médecine*, 4e série, 1845, t. IX, p. 266).

(3) *Leçons sur les propriétés* physiologiques et les altérations *pathologiques des liquides de l'organisme*, t. I, p. 86.

au point d'y acquérir un excès notable de chaleur sur le sang artériel, et c'est dans les veines sus-hépatiques que ce fluide présente son maximum de température (*) : par conséquent, dit cet auteur, le *foie* doit être considéré comme un des foyers principaux de la chaleur animale.

Dans le poumon, au contraire, le sang paraît plutôt perdre qu'acquérir de la chaleur, pendant la transformation qu'il y subit. Sans doute les phénomènes chimiques de l'hématose s'accompagnent, au sein même de cet organe, d'une certaine élévation de température ; mais celle-ci est plus que compensée par le refroidissement résultant du contact médiat de l'air inspiré, et de l'évaporation de l'eau à la surface de la membrane muqueuse pulmonaire. Aussi le sang du ventricule gauche du cœur est-il un peu moins chaud que celui du ventricule droit : dans les expériences de Cl. Bernard (1), la différence était de 0°,1 à 0°,2 chez le chien, de 0°,018 à 0°,252 chez le mouton ; chez un veau né à terme et offrant une ectopie complète du cœur, Hering (2) a trouvé que le sang était de 1°,53 plus chaud dans le ventricule droit que dans le gauche.

D'autres observateurs avaient déjà constaté expérimentalement cet excès de chaleur du sang du ventricule droit comparé à celui du ventricule gauche : dans l'expérience exécutée par Malgaigne (3), sur une chienne vigoureuse, dans le but de comparer la température des deux sangs, la différence a été trouvée de 1°.

Mais quand la circulation a cessé, et surtout lorsqu'en outre le cœur reste exposé au contact de l'air, par suite de l'ouverture de la poitrine, les rôles s'intervertissent, et le thermomètre ne tarde pas à accuser dans les cavités gauches de cet organe une température sensiblement plus élevée que dans les cavités droites. — Cela est dû à ce que la moindre épaisseur des parois ventriculaires droites permet alors un refroidissement plus rapide du sang qu'elles renferment.

Il n'est donc pas surprenant que J. Davy (4), en opérant sur le cœur d'agneaux tués par hémorrhagie depuis *un quart d'heure*, ait trouvé une différence de 0°,56 en faveur du ventricule gauche. D'autre part, G. Liebig, observant la marche de deux thermomètres aussi comparables que possible et plongés dans l'eau chaude dont il avait rempli les ventricules du cœur d'un chien, a vu, au bout de *cinq minutes*, celui du ventricule droit sensiblement plus bas que l'autre.

Pour des expériences aussi délicates, il vaut mieux n'employer jamais qu'un seul et même thermomètre, que l'on fait passer d'un ventricule à l'autre, en renversant, dans chaque série d'observations, l'ordre suivant lequel on explore les cavités.

Le *sang*, avons-nous dit, est le répartiteur de la chaleur développée au sein des tissus : c'est ce qui résulte des recherches de Collard de Martigny (5) qui explorait la température des organes profonds à l'aide d'un thermomètre dont la boule était introduite par une ouverture faite à la peau et à travers le tissu cellulaire, en évitant avec soin de léser les vaisseaux environnants ; puis il exposait cette même

(*) Chez les animaux les plus vigoureux, cette chaleur a pu s'élever à 41°,6 ; et la température du sang, mesurée dans les veines sus-hépatiques au sortir du foie, s'est montrée parfois supérieure de 0°,8 à celle que le même fluide offrait dans la veine porte avant de pénétrer dans ce viscère.

(1) *Ouvr. cit.*, p. 110 et 116.

(2) *Arch. für physiolog. Heilkunde*, 1850.

(3) COLLARD DE MARTIGNY, *De l'influence de la circulation générale et pulmonaire sur la chaleur du sang* (*Journal complémentaire des sciences médicales*, t. XLIII, p. 286 et 287).

(4) *Philosoph. Transact.*, 1814, t. CIV, p. 596.

(5) *Ouvr. cit.*, p. 269 et suiv.

boule au jet de sang sortant d'un vaisseau voisin, largement ouvert. En opérant ainsi, il a reconnu que la température du *sang* est tantôt inférieure, tantôt égale et tantôt supérieure à celle de quelqu'une des parties qu'il parcourt, et que, par conséquent, il enlève ou cède de la chaleur aux organes avec lesquels le mouvement circulatoire le met en contact.

Ce rôle du sang comme équilibrateur de la chaleur animale ressort plus évidemment encore des expériences de Cl. Bernard (1). Ce fluide a toujours été trouvé moins chaud que les organes qu'il traverse, et pour n'en citer qu'un exemple, la température du gros intestin s'est montrée constamment supérieure à celle des gros vaisseaux (2). — La chaleur moindre du sang veineux comparé au sang artériel, que l'on constate dans les observations ordinaires, ne prouve rien autre chose, si ce n'est que, dans les parties où on l'observe, les phénomènes de calorification sont masqués par certaines influences physiques, que favorisent la position ou la conformation des organes : c'est ce qu'on voit particulièrement dans les extrémités des membres.

Pour terminer ce qui est relatif à la distribution de la chaleur dans les différentes parties du corps, nous ferons observer que le *rectum*, dont les expérimentateurs font fréquemment choix pour y introduire le thermomètre, a offert dans beaucoup de cas une température supérieure à celle du cœur droit ou gauche (3), et suivant J. Davy, à celle du cerveau (4).

L'intensité de la chaleur propre des êtres vivants est susceptible de varier sous l'influence d'un grand nombre de causes, dont les plus importantes ont donné lieu à des recherches aussi multipliées que savantes. Déjà, en traitant de la *Respiration* (p. 555), nous avons étudié la part qui doit être attribuée à ces causes dans les modifications qu'éprouvent les phénomènes chimiques de cette fonction : or, comme la plus intime relation existe entre ces mêmes phénomènes et la chaleur animale, dont l'élévation leur est en quelque sorte subordonnée, il nous suffira, dans l'exposé que nous allons faire, de suivre pas à pas l'étude correspondante dans la fonction respiratoire, et d'interpréter, au point de vue de la température produite, les résultats obtenus pour la première à l'aide de l'observation directe.

L'espèce animale ; — la taille et le poids du corps de l'individu ; — l'âge et le sexe ; — l'état de plénitude ou de vacuité de l'estomac ; — le régime alimentaire ; — l'insuffisance de l'alimentation, l'inanition ; — l'état de repos ou de travail physique ou intellectuel ; — l'état de veille ou de sommeil ; — l'engourdissement hibernal propre à certains animaux ; — la constitution chimique du milieu ambiant, sa température, son état hygrométrique ; — les variations de la pression extérieure ; — le nombre et la profondeur des inspirations ; — divers états pathologiques, — telles sont les conditions et les causes dont l'influence sur l'activité respiratoire a été précédemment étudiée. Telles sont aussi (à quelques-unes près qu'on trouvera indiquées dans les pages suivantes) les conditions et les causes qui influent sur le plus ou moins de chaleur produite pendant la vie.

A. — On a vu précédemment que, dans les *espèces animales différentes*, le

(1) *Ouvr. cit.*, p. 139.
(2) *Ouvr. cit.*, p. 149.
(3) CL. BERNARD, ouvr. cit., p. 110.
(4) *Philos. Trans.*, vol. CIV, p. 600.

thermomètre accuse des températures qui varient depuis une fraction de degré jusqu'à près de 44° (*) : quant aux plantes, c'est seulement dans quelques individus et au moment de la fécondation, qu'il est possible d'y constater le développement d'une chaleur dont le chiffre peut dépasser 61° (**).

Mais, les notions fournies par l'exploration thermométrique, tout exactes qu'elles sont, ne sauraient conduire à une évaluation même approximative des quantités de chaleur produite dans un temps donné : il est indispensable, pour arriver à cette évaluation, de mesurer aussi exactement que possible les quantités d'oxygène consommé, d'acide carbonique et de vapeur d'eau exhalés : et, de plus, de rapporter toutes ces valeurs à un poids uniforme, afin que les résultats obtenus soient comparables entre eux.

C'est d'après ces principes que nous avons formé le tableau suivant, calqué sur celui qui a été donné plus haut (p. 556), et dans lequel la chaleur produite par la combustion du *carbone*, pour donner naissance à l'*acide carbonique* exhalé, et celle qui résulte de la combustion de l'*hydrogène* entrant dans la composition de l'*eau formée* (laquelle se trouve confondue dans les produits de l'expiration avec celle qui n'est que simplement vaporisée) sont calculées pour *une heure* de durée et un *kilogramme* de chaque espèce animale.

NOMS DES ESPÈCES.	OXYGÈNE ABSORBÉ.	ACIDE CARBONIQUE EXHALÉ.	EAU PRODUITE.	NOMBRE de calories résultant de la combustion du carbone.	NOMBRE de calories résultant de la combustion de l'hydrogène.	NOMBRE TOTAL de calories produites.
MAMMIFÈRES.	Gr.	Gr.	Gr.	Calor.	Calor.	Calor.
Lapins.....	0,883	1,109	0,086	2,448	0,3308	2,7788
Chiens.....	1,183	1,195	0,353	2,638	1,3543	3,9923
Marmottes..	0,986	1,016	0,279	2,243	1,0683	3,3113
OISEAUX.						
Poules.....	1,035	1,368	0,046	3,019	0,1757	3,1947
Canards.....	1,850	2,126	0,342	4,693	1,3095	6,0025
Verdiers.....	11,371	11,334	3,519	25,021	13,4815	38,5025
Bec-croisé....	10,974	11,930	2,585	26,335	9,8974	36,2324
Moineaux....	9,595	9,583	2,954	23,752	8,1743	31,9263
REPTILES.						
Lézards.....	0,1916	0,1978	0,0537	0,436	0,2033	0,6393
Grenouilles...	0,0900	0,0910	0,0267	0,200	0,0999	0,2999
Salamandres..	0,0850	0,1130	0,0032	0,248	0,0103	0,2583
INSECTES.						
Hannetons...	1,019	1,136	0,217	2,517	0,8305	3,3475
ANNÉLIDES.						
Vers de terre.	0,1013	0,1078	0,0257	0,237	0,0930	0,3300

(*) PALLAS, il est vrai, a trouvé 49°,44 chez le *Picus major*. Mais on doit remarquer que les évaluations données par cet auteur sont constamment supérieures à celles des observateurs venus après lui, ce qui fait suspecter d'exagération les résultats qu'il a énoncés.

(**) Voir ci-dessus, *p. 1100, note.*

Il suffit de jeter un coup d'œil sur ce tableau pour reconnaître, sous une autre forme, les résultats déjà donnés par l'exploration thermométrique directe : ici encore, en plaçant les animaux sur lesquels ont porté les expériences, dans l'ordre assigné par le chiffre du nombre de *calories* produites, on trouve que les *oiseaux* occupent le premier rang, et, parmi eux, ceux dont le vol est le mode habituel de locomotion distancent de beaucoup les autres ; viennent ensuite les *mammifères*; puis sur le même rang, les *insectes* ; les *reptiles* n'arrivent qu'en troisième ligne, et même dans cette classe, ceux qui sont amphibies et à peau nue ne présentent pas de supériorité notable sur les *annélides*.

B. — On a vu précédemment que les phénomènes chimiques de la respiration sont dans un rapport inverse d'intensité avec le *volume* et le *poids* des animaux. V. Regnault et Reiset (1) ont formulé dans les termes suivants la onzième conclusion générale de leur mémoire :

« La consommation d'oxygène faite dans des temps égaux, par des poids égaux d'animaux appartenant à la même classe, varie beaucoup avec leur grosseur absolue. Ainsi, elle est dix fois plus grande chez les petits *oiseaux*, tels que les moineaux et les verdiers, que chez les poules. Comme ces diverses espèces possèdent la même température, et que les plus petites, présentant comparativement une surface beaucoup plus grande à l'air ambiant, éprouvent un refroidissement plus considérable, il faut que chez celles-ci les sources de chaleur agissent plus énergiquement, et que la respiration soit plus abondante. »

Ajoutons à ces observations que le mode de locomotion propre à ces petits oiseaux, mode dont l'influence sur la chaleur produite vient d'être signalée, augmente encore dans une proportion considérable le refroidissement qu'ils éprouvent par le rayonnement, le contact de l'air et l'évaporation.

Les mêmes remarques sont applicables à divers *insectes*, comme les *vers à soie*, qui, à poids égal, consomment à peu près autant d'oxygène que les *mammifères* inscrits au tableau précédent, et dont la masse est de 2000 à 10 000 fois plus considérable que la leur : si la température de ces insectes ne s'élève pas davantage au-dessus de celle de l'air qui les environne, cela tient à ce qu'ils présentent, en général, à l'action de ce même air, une peau humide et une surface relativement très étendue.

C. — Avec la vie, commencent les phénomènes physiques et chimiques qui la caractérisent; avec ceux-ci, apparaît la production de chaleur qui en est la conséquence.

Quel que soit l'*âge* auquel on observe le nouvel être, dès l'instant qu'il est possible de l'isoler, pour le suivre dans son développement, on constate dans l'air qui l'environne les deux modifications signalées, à savoir : la diminution de la proportion d'*oxygène* et l'augmentation de celle d'*acide carbonique*. Un dégagement plus ou moins considérable de chaleur coïncide avec cette double altération de l'air.

L'*œuf* fécondé résiste plus énergiquement à l'action du froid extérieur que celui qui ne l'est pas, et, pendant l'incubation, il est le siége des actes chimiques qui caractérisent la respiration (*).

Les *graines* présentent des phénomènes absolument semblables, et la chaleur,

(1) *Ann. de chim. et de phys.*, 3e série, t. XXVI, p. 299.

(*) *Voir plus haut*, page 1099.

l se développe parfois dans les amas de *blé* peut devenir assez considérable ır y faire naître des altérations plus ou moins profondes.

Chez les animaux vivipares, la chaleur propre du fœtus se confond avec celle sa mère, et c'est seulement après la naissance, quand la respiration est bien blie, qu'il est possible de constater l'existence de cette chaleur chez le nouveau- et d'en mesurer l'étendue et les variations.

L'intime relation que nous avons déjà signalée entre l'activité respiratoire et ivation de la température propre des animaux permet d'ailleurs de déduire ju'à un certain point celle-ci de la première, et même de lui appliquer la loi siologique formulée précédemment sur l'accroissement continu de la puis- ce respiratoire depuis la naissance jusqu'à l'âge adulte, et son décroissement ırtir de cet âge jusqu'à la fin de la vie (page 560).

es expériences thermométriques directes s'accordent assez bien avec cette pro- tion : ainsi, d'après W. Edwards (1), la moyenne de la température de dix en- s, bien portants, âgés de quelques heures à deux jours, n'atteignait que 34°,75, lis qu'elle s'élevait à 36°,12 chez vingt adultes. Despretz (2) a trouvé 35°,06, moyenne, chez trois jeunes garçons d'un à deux jours, 37°,4 chez neuf adultes treize ans. Enfin H. Roger (3) a obtenu, sur neuf enfants naissants, une tempé- ure moyenne de 36°,14 ; sur trente-cinq enfants âgés d'un à sept jours, 37°,08 ; treize enfants de quatre mois à six ans, 37°,11 ; et sur douze enfants de six à torze ans, 37°,31.

Les recherches du même auteur conduisent à un autre fait, qu'il est important signaler, et qui consiste en ceci, que les écarts entre les températures *maxi-* m et *minimum*, observées dans chacune des séries précitées, vont toujours en minuant à mesure qu'on s'éloigne de l'époque de la naissance. Cette particularité, l prouve avec quelle facilité les petits enfants sont susceptibles de se refroidir, tifie le soin que l'on prend de les soustraire à l'influence réfrigérante du milieu biant, imitant en cela les animaux qui, fidèlement guidés par leur instinct, ultiplient autour de leur progéniture les moyens les plus efficaces de protection ntre le refroidissement extérieur. — W. Edwards (4) a vu chez de jeunes animaux oiseaux, *hirondelles*, *éperviers*) éclos depuis une semaine, la température des- ndre en une heure à 19°, de 35° à 36° qu'elle marquait lorsqu'il les avait tirés de leur nid.

Contrairement aux faits précédemment énoncés, John Davy (5) a trouvé, dans ıq observations sur l'espèce humaine, la température de l'enfant naissant supé- ure d'un *demi-degré* à celle de la mère, et la différence s'éleva même à 1° dans douze heures qui suivirent l'accouchement. D'un autre côté, dans les trente- is observations mentionnées plus haut sur des nouveau-nés âgés d'un à sept ırs, H. Roger a noté trois fois 38° et une fois 39°. Ce sont là de ces anomalies nt l'explication nous échappe, faute de renseignements sur les conditions parti- lières dans lesquelles les sujets se trouvaient placés au moment où l'observation té faite.

Tous les animaux dits à *sang chaud* ne jouissent pas, au moment de la nais-

(1) *Influence des agents physiques sur la vie*, p. 235.
(2) *Ann. de chimie et de phys.*, 2e série, t. XXVI, p. 338.
(3) *Loc. cit.*
(4) *Loc. cit.*, p. 138.
(5) *An Account of some Experiments on Animal Heat* (*Phil. Trans.*, vol. CIV, p. 608).

sance, de la faculté de produire assez de chaleur pour se maintenir à une température élevée et constante quand on les expose à l'air, soit au printemps, soit en été. Il en est qui, dans ces circonstances, se refroidissent à la manière des vertébrés à *température variable*. — W. Edwards (1), à qui l'on doit cette curieuse remarque, indique, pour les mammifères, l'état des yeux à la naissance comme pouvant servir à les ranger dans le premier ou le second groupe, suivant que ces organes sont ouverts ou fermés. Cette particularité anatomique répond à un degré plus ou moins avancé de développement. Mais, chez l'enfant né avant terme, à six ou sept mois par exemple, bien qu'à cette époque les yeux soient ouverts, l'imperfection des organes respiratoires entraîne dans la fonction qui leur est dévolue une inertie relative, d'où résulte, comme conséquence nécessaire, une diminution dans la faculté de produire de la chaleur. C'est ce qu'a pu constater le même auteur (2) chez un enfant né à sept mois, lequel, observé deux ou trois heures après sa naissance, alors qu'il était près d'un bon feu, bien emmaillotté et bien portant, ne fit monter qu'à 32° le thermomètre placé sous l'aisselle.

Dans la vieillesse, la puissance respiratoire va toujours en diminuant, et la chaleur propre subit une décroissance correspondante. W. Edwards assigne comme limites de la température des sexagénaires 35° à 36°, et, pour les octogénaires, 34° à 35°. — H. Roger (3) a trouvé en moyenne, chez sept vieillards de soixante-douze à quatre-vingt-quinze ans, 36°,68 dans l'aisselle, et 36°,23 dans la bouche. — Piorry (4) a observé, chez un vieillard de quatre-vingts ans, 35° dans l'aisselle et 32°,5 dans la bouche. — On doit à J. Davy (5) une suite d'observations thermométriques, faites dans le Westmoreland sur des vieillards âgés de quatre-vingt-sept à quatre-vingt-quinze ans : tous étaient bien portants et en position d'être convenablement vêtus et nourris. Au moment de l'expérience, ils étaient assis au coin de leur feu, dans une chambre dont la température s'est maintenue entre 11°,1 et 15°,5; ils avaient pris leur repas peu de temps auparavant : le thermomètre a donné en moyenne 36°,84, c'est-à-dire 0°,47 de moins que la moyenne générale des cent cinquante observations faites par le même auteur sur des sujets de différents âges. — A Ceylan, il avait eu l'occasion de faire une expérience comparative sur un vieillard de cent ans accomplis, accompagné d'un enfant de douze ans : tous deux étaient légèrement vêtus et se plaignaient du froid. L'observation eut lieu à sept heures du matin, hors des habitations, l'air étant à 22°,3. Chez le vieillard, la température sous la langue était de 35°, et sous l'aisselle de 33°; chez l'enfant, dans les mêmes points, le thermomètre marquait 36°, et 35°,8. — Enfin, la température d'un vieillard de quatre-vingt-huit ans, observée sous la langue, descendit successivement de 37°,5 à 36°,6 et à 35°,5, par suite du refroidissement de l'air ambiant qui, de 15°,5 s'abaissa à 12°,8, et enfin à 6°,7.

Ainsi, aux deux périodes extrêmes de la vie, l'absorption d'oxygène et la production d'acide carbonique sont beaucoup moindres que dans l'âge adulte. La chaleur propre subit alors une diminution proportionnelle; mais de plus, par suite de l'inertie musculaire qui caractérise les premiers mois aussi bien que les dernières années de l'existence, le vieillard, comme le très jeune enfant, oppose

(1) *Loc. cit.*, p. 232.
(2) *Loc. cit.*, p. 235.
(3) *Archives générales de médecine*, 4e série, t. V, p. 291.
(4) *Traité de diagnostic et de séméiologie*, t. III, p. 38.
(5) *Ann. de chimie et de physique*, 3e série, t. XIII, p. 178.

une moindre résistance aux causes extérieures de refroidissement, et l'un et l'autre éprouvent le plus impérieux besoin d'en être préservés par tous les moyens que l'hygiène met à notre disposition.

D. — Davy (1) est, à notre connaissance, le seul auteur qui ait cherché à déterminer expérimentalement l'influence du *sexe* sur la chaleur animale. Dans quatre séries d'expériences pratiquées sur des individus de même nation, et avec des conditions extérieures aussi semblables que possible, il a trouvé deux fois une légère différence en faveur des hommes, et deux fois une différence à peu près correspondante en faveur des femmes. La moyenne générale pour celles-ci a été de 38°,38, et, pour les premiers de 38°,39, valeurs qu'il est permis de considérer comme identiques, puisqu'elles ne diffèrent entre elles que de 0°,01. Rappelons ici que, d'après Andral et Gavarret (2), la respiration est plus active dans le sexe masculin, et que l'établissement des menstrues marque dans la vie des femmes un véritable temps d'arrêt pour l'exhalation d'acide carbonique, qui se maintient, jusqu'à l'âge du retour, dans les limites qu'elle avait atteintes vers la fin de la seconde enfance (voy. page 562). — Devons-nous en conclure que la femme produit moins de chaleur que l'homme? Non sans doute, puisque, d'une part, les expériences de J. Davy semblent prouver que cette production est égale dans les deux sexes; et, de l'autre, les recherches d'Andral et de Gavarret conduisent à cette conclusion, que *la fonction utérine est supplémentaire de la fonction pulmonaire* (3), et, par conséquent, que la quantité de carbone brûlé dans l'acte respiratoire ne peut pas servir, chez la femme menstruée, à mesurer la quantité de chaleur produite.

Il est d'ailleurs une circonstance qui tend à faire admettre que la production de chaleur est plus active chez la femme que chez l'homme: c'est l'énergie avec laquelle elle résiste aux causes extérieures de refroidissement. Habituellement vêtue et chaussée plus légèrement que nous, elle assiste pendant des heures entières, immobile, la tête, le cou, les épaules, la poitrine et les bras nus, à des représentations théâtrales, à des cérémonies religieuses, et même à des fêtes qui se donnent en plein air par une température parfois assez rigoureuse. Se livre-t-elle à l'exercice de la natation, fréquente-t-elle les bains de mer, elle est moins que l'homme arrêtée par les intempéries de la saison, et souvent même elle oppose alors aux conseils de la prudence la résistance la plus obstinée et la plus aveugle. —Il serait facile de multiplier les preuves de cette insensibilité relative des femmes au froid extérieur, insensibilité qui trouve peut-être son explication dans la prédominance de l'action nerveuse particulière au sexe féminin, et dans l'influence de cette même action sur la caloricité par l'intermédiaire de la circulation.

E. — L'ingestion des *aliments* augmente à la fois l'absorption de l'oxygène et le dégagement de l'acide carbonique (*) : par conséquent, la chaleur animale doit s'accroître par suite de cette ingestion. Mais cette élévation définitive du chiffre de la chaleur produite n'en est pas moins précédée d'un refroidissement momentané, qui succède immédiatement au repas: tout le monde a éprouvé qu'au

(1) *Ann. de chim. et de phys.*, t. XXXIII, p. 187.
(2) *Ibid.*, 3e série, t. VIII, p. 129.
(3) GAVARRET, *De la chaleur produite par les êtres vivants*, p. 353.
(*) Voir ci-dessus, *p. 563.*

sortir de table on est plus sensible au froid. En hiver, on sent le besoin de se rapprocher du feu, ce qui tient au mouvement fluxionnaire qui se fait du côté de l'appareil digestif, et, en particulier, de l'estomac, aux dépens de la périphérie du corps. — La basse température des boissons que l'on ingère doit aussi concourir à ce refroidissement, qui n'a d'ailleurs qu'une courte durée et est promptement remplacé par une sensation générale de chaleur (*).

Aug. Duméril (1) a suivi, le thermomètre à la main, les variations de la température des serpents durant le travail de la digestion. Il a reconnu qu'après s'être élevée brusquement, elle a continué à monter d'une manière progressive jusqu'à ce qu'elle eût atteint un maximum, à partir duquel elle a offert une marche décroissante. En général, l'élévation a été de 2°,4 ; mais, dans certains cas, elle a atteint 6°,5, et, dans d'autres, elle n'a pas dépassé 1°.

La *quantité d'aliments* ingérés exerce une grande influence sur la chaleur produite. Lorsque cette quantité est insuffisante, qu'il y a *inanition*, l'activité des phénomènes respiratoires diminue : l'absorption d'*oxygène* a lieu en moindre proportion qu'à l'état normal; l'exhalation d'*acide carbonique* subit une diminution plus notable encore, d'où il semble résulter que l'animal, à l'état d'inanition, brûle une plus forte proportion d'*hydrogène* que dans les conditions ordinaires (voy. page 564). De plus, c'est à ses propres dépens que l'animal privé d'aliments se nourrit ; il consomme, pour les besoins de sa respiration, la substance même de ses tissus, et surtout les graisses mises en dépôt dans divers points de son organisme.

Il en résulte, d'une part, que le refroidissement de l'animal est beaucoup moins rapide, pendant les premiers jours d'inanition, qu'il ne devrait l'être eu égard à la lenteur de l'activité des combustions respiratoires, évaluées d'après le chiffre de l'acide carbonique exhalé ; et, de l'autre, que les produits de ces combustions ne diffèrent pas alors de ceux qui, comme on le verra plus loin, prennent naissance sous l'influence de l'alimentation animale.

Lavoisier a parfaitement apprécié ces effets de l'inanition, dont la science moderne vient de donner une analyse aussi exacte que complète : « Dans la respiration, dit-il, comme dans la combustion, c'est l'air de l'atmosphère qui fournit l'oxygène et le calorique ; mais, comme dans la respiration, c'est la substance même de l'animal, c'est le sang qui fournit le combustible. Si les animaux ne répaiaient pas habituellement par les aliments ce qu'ils perdent par la respiration, l'huile manquerait bientôt à la lampe, et l'animal périrait comme une lampe s'éteint lorsqu'elle manque de nourriture (2). »

Ch. Martins (3) a fait d'intéressantes observations thermométriques sur l'influence que l'alimentation exerce sur la chaleur animale des palmipèdes : « Le hasard, dit-il, m'a fourni un excellent exemple pour mettre cette influence en relief. A la première écluse de la rivière de Lez, près de Montpellier, se trouvaient deux troupeaux de canards, vivant dans le même air, nageant pêle-mêle dans les mêmes eaux. L'un appartenait au moulin, et chaque matin en sortant de l'écurie et le

(*) L'effet réfrigérant des boissons est encore plus appréciable en été, alors qu'on les prend très froides, et surtout sous forme de *glaces*.

(1) *Ann. des sciences naturelles* (Zoologie), 3e série, t. XVII, p. 21.

(2) *Mémoires de chimie*, t. II, 5e mémoire sur la respiration, p. 58.

(3) *Mémoire sur la température des oiseaux palmipèdes du nord de l'Europe* (*Mémoires de l'Académie des sciences et lettres de* Montpellier, 1856, t. III, p. 189 à 224).

soir en y rentrant, ces canards recevaient une copieuse ration de grains avariés et de maïs ; l'autre troupeau était la propriété du pauvre éclusier qui ne leur donnait rien : ses oiseaux étaient réduits à manger ce qu'ils trouvaient dans la rivière... La différence moyenne entre les oiseaux du moulin et ceux de l'écluse est de 0°,8. En examinant les températures individuelles, le contraste devient encore plus frappant. Ainsi, c'est parmi les canards et les canes de l'écluse que se trouvent les températures les plus basses que j'aie observées, savoir : pour un canard 40°,82 ; pour une cane, 40°,90. Après avoir fait cette remarque, il m'est arrivé souvent de pouvoir affirmer, par la connaissance seule de la température, si des oiseaux étaient bien ou mal nourris. »

Des animaux de la même classe furent soumis à plusieurs abstinences successives, séparées par des intervalles pendant lesquels ils étaient nourris abondamment de maïs, d'avoine, de son et d'herbe. Après cinq jours d'abstinence, pendant lesquels ces oiseaux n'avaient eu que de l'eau où ils pouvaient se baigner, leur température avait baissé en moyenne de 0°,12 par vingt-quatre heures ; mais il est à remarquer que le refroidissement causé par la privation d'aliments ne s'est montré que le premier jour et à partir du cinquième : les second, troisième et quatrième, la température s'est relevée malgré la prolongation de l'abstinence. Chossat (1), dans ses recherches sur le même sujet, a observé, mais seulement le second jour, le même phénomène de réaction. D'après les expériences de cet auteur, la chaleur animale diminuait sous l'influence de l'inanition absolue de 0°,3 par jour en moyenne ; mais, le dernier jour de la vie, le refroidissement s'accélérait avec tant de rapidité que l'animal perdait, terme moyen, 1°,39 *par heure*. La perte totale de chaleur, pendant ce jour, qui souvent était incomplet, s'élevait à 14° ; et, au moment de la mort, le chiffre thermométrique moyen était de 24°,9, les valeurs extrêmes étant 34°,2 et 18°,5. — Les symptômes offerts par les animaux rappelaient alors ceux de la mort par le froid, et un réchauffement artificiel pouvait reculer le terme fatal.

Il est à propos de faire observer que ces effets de la privation complète d'aliments et de boissons se sont reproduits, mais avec plus de lenteur, dans les cas d'*alimentation insuffisante*. Chez les animaux soumis à ce dernier genre d'épreuve, la diminution progressive de la chaleur a offert moins de régularité, et elle a été parfois interrompue par des périodes de réaction pendant lesquelles cette chaleur atteignait et dépassait même son chiffre normal.

Ajoutons encore que, sous le triple rapport de leur nature, de leur marche et de leur intensité, les effets observés ont été les mêmes pour les mammifères et pour les oiseaux.

Cette influence de la vacuité ou de la plénitude de l'estomac sur la chaleur animale avait été signalée par Hippocrate (2) : « Quemadmodum arboribus terra, ita » animalibus ventriculus et nutrit et calefacit, et frigefacit. Frigefacit dum eva- » cuatur ; calefacit dum impletur. »

F. — La *nature de l'alimentation* n'exerce, comme on l'a vu (p. 566), aucune action bien importante sur l'activité même des phénomènes respiratoires : cette activité se maintient à peu près au même niveau, que le régime soit végétal ou qu'il

(1) *Mémoires présentés par divers savants étrangers*, t. VIII, p. 438.
(2) HIPPOCRATIS *opera omnia, édit.* Vander Linden, lib. *De humoribus*, t. I, p. 322.

soit animal. Toutefois, dans le premier cas, l'oxygène absorbé est employé en majeure partie et quelquefois même en totalité, à brûler le carbone du sang, pour former de l'acide carbonique qui est exhalé ; dans le second, au contraire, il se produit peu d'acide carbonique, et par conséquent, c'est avec l'hydrogène que l'oxygène atmosphérique absorbé se combine. Or, la quantité de chaleur dégagée est fort différente de part et d'autre : un kilogramme d'oxygène, pour former de l'acide carbonique, brûle 375 grammes de carbone, et dégage 3030 calories ; tandis que, pour donner naissance à de l'eau, cette même quantité d'oxygène exige 124 grammes d'hydrogène dont la combustion produit 4260 calories. — D'après les résultats publiés par Lavoisier et Séguin (*) concernant la consommation de l'oxygène chez l'homme, dans les principales conditions où il se trouve, un kilogramme de ce gaz peut être absorbé dans des limites de temps qui varient entre *huit* et *trente* heures, et par conséquent c'est aussi dans ce même laps de temps que l'effet calorifique précité peut prendre naissance. Notons, d'ailleurs, que ces effets se produiraient beaucoup plus rapidement encore dans une saison ou dans un climat rigoureux, alors que l'énergie des combustions respiratoires augmente proportionnellement à l'abaissement de la température et au mouvement que l'on se donne dans le but d'y résister.

Le régime alimentaire approprié aux saisons et aux climats divers est en parfait accord avec les faits que nous venons d'énoncer. En été et dans les pays chauds, on consomme une moindre quantité d'aliments qui, de plus, ne contiennent qu'une faible proportion de carbone (**). Le contraire a lieu en hiver et dans les pays froids.

Le docteur Hayes, chirurgien de la seconde expédition des États-Unis au pôle arctique, a étudié avec soin les habitudes et le régime de vie des Esquimaux. Il attribue à la nature et à la quantité des aliments dont ils se nourrissent, la résistance presque incroyable qu'ils opposent à l'influence dépressive du froid. Vivant presque sans feu, misérablement vêtus, continuellement exposés à une température excessivement basse, ils n'en constituent pas moins une race saine et vigoureuse, que n'attaquent ni le scorbut ni les affections tuberculeuses. Le morse, le veau marin, le narval, le saumon, l'ours, etc., forment leur nourriture ordinaire. Ils mangent habituellement la chair crue et en absorbent chaque jour de six à huit kilogrammes, dont un bon tiers de graisse. Ils avalent avec délices des morceaux d'huile de baleine gelée. — Les marins de l'expédition ne parvinrent à supporter sans peine le froid excessif auquel ils étaient exposés, qu'à la faveur d'un régime analogue ; ils finirent par s'y accoutumer et même par le trouver de leur goût (1).

De pareilles remarques ont été faites par d'autres observateurs, et notamment par le capitaine Ross (2), qui avait reconnu par expérience la nécessité d'augmenter beaucoup les rations de vivres des marins appelés à naviguer dans les régions polaires. — Mais c'est aux chimistes et aux physiciens de nos jours que revient l'honneur d'avoir complété sous ce rapport l'œuvre de Lavoisier, en montrant

(*) Voir ci-dessus, p. 526.

(**) Les fruits à l'état de maturité ne renferment guère plus de 12 pour 100 de carbone, tandis que l'huile de poisson si avidement recherchée par l'habitant des régions polaires en contient de 66 à 80 pour 100.

(1) *Americ. Journ. of Medicine.* July 1860.
(2) *Narrative of a second Voyage*, etc., édit. de Paris, p. 131.

que la nature des aliments dont l'homme et les animaux se nourrissent dans les saisons et les climats les plus opposés est parfaitement appropriée aux exigences de la double combustion respiratoire.

G.— Les muscles, dans l'état de vie, absorbent de l'oxygène et dégagent de l'acide carbonique et de l'azote; en d'autres termes, ils présentent les phénomènes chimiques de la respiration : ces effets, encore appréciables avec des muscles de grenouille récemment préparés et à l'état de repos, sont plus que doublés sous l'influence de la contraction artificiellement provoquée; en même temps, il y a production de chaleur et d'électricité. Matteucci (1), qui a fait, sur ce sujet, de nombreuses expériences, a vu la température s'élever d'un *demi*-degré par suite des contractions qu'il excitait.

Becquerel et Breschet (2) ont constaté directement que l'exercice musculaire s'accompagne de production de chaleur. Une aiguille thermo-électrique, implantée dans le biceps d'un homme qui se servit du bras correspondant pour scier du bois pendant cinq minutes, accusa une augmentation de température de 1° comparativement à l'autre aiguille placée dans un appareil à température fixe.

Mais, indépendamment des phénomènes physico-chimiques qui se passent dans la fibre musculaire elle-même, et qui donnent lieu à la production d'une certaine quantité de chaleur, l'activité que la contraction musculaire détermine dans la circulation tant locale que générale et dans les mouvements respiratoires devient une nouvelle source de chaleur.

Toutefois John Davy (3) paraît disposé à n'attribuer à l'exercice qu'une influence de répartition plus égale de la chaleur dans les différents points de l'économie. Les expériences, qu'il a faites à ce point de vue l'ont conduit à formuler la proposition suivante : « L'exercice modéré provoque une diffusion de chaleur et un accroissement considérable aux extrémités ; il n'augmente que très peu, si toutefois il l'augmente, la température des parties du corps situées à une certaine profondeur. » Nous citerons, comme exemple à l'appui de cette proposition, une des expériences, dans laquelle le thermomètre placé, au moment du départ, entre les orteils, ne marquait que 18°,9 : après la marche, il a donné 35°,8; au contraire, immergé dans l'urine recueillie aux deux époques, il n'a pas changé d'indication et est resté à 38°.

Dans des recherches récentes, J. Béclard (4) a constaté que, chez l'homme, la quantité de chaleur développée par la contraction musculaire est moindre quand cette contraction est employée à produire un travail mécanique utile, que quand elle reste à l'état *statique*, c'est-à-dire, sans application à un effet mécanique.

Il admet que « la quantité de chaleur qui disparaît du muscle, quand il produit un travail mécanique extérieur, correspond à l'effet mécanique produit. »

En conséquence, « l'action musculaire non utilisée sous forme de travail mécanique extérieur est la seule qui paraisse sous forme de chaleur : en d'autres termes, la chaleur musculaire est *complémentaire* du travail mécanique utile produit par la contraction. »

(1) *Recherches sur les phénomènes physiques et chimiques de la contraction musculaire* (*Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, 1856, t. XLII, p. 648).

(2) *Mémoire sur la chaleur animale* (*Ann. de chim. et de phys.*, 1835, t. LIX, p. 113).

(3) *Annales de chimie et de physique*, 3e série, 1845, t. XIII, p. 187.

(4) *De la contraction musculaire dans ses rapports avec la température animale* (*Archives générales de médecine, nos de janvier et suiv.*, 1861).

L'action chimique dont le muscle est le siége se trouve donc représentée par la chaleur musculaire et par le travail mécanique extérieur, qui, l'un et l'autre, sont les produits de la contraction musculaire (*).

Cette manière d'envisager les résultats mécaniques et calorifiques de la contraction musculaire ne peut manquer d'être prise en grande considération dans les calculs relatifs à la production de la chaleur animale.

L'élévation de température qui accompagne l'activité musculaire se manifeste dans toutes les espèces animales : Newport (1) et Dutrochet (2) ont démontré que les insectes produisent plus de chaleur quand ils sont en mouvement que lorsqu'ils demeurent en repos. — Nous devons néanmoins faire observer que, dans les expériences pratiquées sur les animaux de même espèce, les différences notées par Newport, dans les deux états de repos et de mouvement, sont beaucoup plus considérables que celles auxquelles est arrivé Dutrochet, circonstance que nous avons déjà eu occasion de signaler (p. 1097).

Huber (3) a constaté que, pendant le tumulte qui accompagne le *jet* (**) d'un essaim, le thermomètre monte à + 40°, de 33°,75 à 36°,25 qu'il marque ordinairement dans une ruche bien peuplée, par un beau jour de printemps.

L'élévation de température résultant de la locomotion est en rapport avec l'étendue, l'énergie et la durée des actes dont elle est la conséquence : plus les muscles qui se contractent sont nombreux, les efforts énergiques et prolongés, plus aussi la chaleur produite est grande et mieux elle est répartie. Toutefois cette chaleur ne dépasse guère les limites physiologiques, parce qu'un des effets de la locomotion est d'activer la transpiration cutanée, dont le produit, en s'évaporant, devient un puissant moyen de réfrigération.

Tout ce que nous venons de dire sur les *muscles* et la *locomotion* est applicable aux autres appareils organiques. L'entrée en activité d'un organe, quel qu'il soit, a pour conséquences immédiates d'y accélérer le cours du sang, d'accroître l'intensité du travail de composition et de décomposition dont cet organe est incessamment le siége, et, par suite, de donner lieu à une production plus considérable de chaleur tant locale que générale.

Ici encore cette chaleur doit être proportionnelle, dans certaines limites, à l'énergie et à la durée des actes, comme aussi au nombre et à la multiplicité des organes appelés à les produire.

Comparez deux orateurs, dont l'un donne lecture, même avec animation, d'un discours composé à l'avance dans le silence du cabinet, tandis que l'autre, plein de son sujet, s'abandonne avec fougue aux hasards de l'improvisation, et tient son auditoire sous le charme par son éloquence passionnée et sa mimique non moins expressive que ses paroles. — Qui ne voit que ce dernier est en proie à une surexcitation générale, à laquelle le premier reste à peu près étranger? Chez

(*) Depuis quelques années, les physiciens ont porté leur attention sur la transformation de la chaleur en mouvement et du mouvement en chaleur : l'*équivalent mécanique* de la chaleur paraît être fixé aujourd'hui d'une manière assez précise pour satisfaire aux exigences de la science.

(1) *Philos. Transact.*, 1837, part. II, p. 259.

(2) *Ann. des sciences naturelles* (Zoologie), 3e série, t. XIII, p. 5.

(3) *Nouvelles observations sur les abeilles*, t. I, p. 305, 2e édition.

(**) En apiculture, on appelle jet le nouvel essaim qui sort de la ruche.

celui-ci, l'émotion est presque nulle aussi bien que le travail intellectuel; la voix et le geste sont modérés; la respiration demeure calme et le cœur ne précipite pas ses battements. Chez l'autre, au contraire, tout trahit l'énergie des sentiments qui l'entraînent et qu'il cherche à communiquer à ceux qui l'écoutent. Les efforts auxquels il se livre dans ce but n'auront-ils pas pour conséquences immédiates une excitation plus grande des organes, et, par suite, une production plus considérable de chaleur?

Le *travail de l'esprit*, indépendamment de toute autre action, suffit, comme le fait observer J. Davy (1), pour augmenter la chaleur animale. Limitée d'abord à la tête, cette augmentation peut se généraliser sous l'influence de méditations prolongées et profondes. Mais on peut aussi observer parfois un contraste frappant entre la température de la tête et celle des extrémités inférieures, qui semblent d'autant plus froides que la première est plus ardente. Dans ces conditions, malgré la cessation de tout travail, elles ne se réchauffent qu'après de longues heures d'agitation et d'insomnie.

Les *passions*, les *émotions morales* élèvent ou abaissent la température du corps, suivant qu'elles exercent sur le cours du sang et les mouvements respiratoires une action stimulante ou dépressive. « La chaleur, dit Burdach (2), augmente par l'effet de l'espérance, de la joie, de la colère et de toutes les passions excitantes. Au contraire, la crainte, la frayeur, le chagrin, la diminuent. Martin a vu la température monter de 35°,5 à 37°,5 dans un violent accès de colère, et descendre à 33°,75 sous l'empire de la frayeur, mais se relever bientôt jusqu'à 36°,25. »

H. — On a vu plus haut (*) qu'à l'époque de la *floraison*, les différentes parties de la fleur s'échauffent: cet échauffement accidentel, beaucoup plus considérable au niveau des organes sexuels, coïncide avec une absorption plus active d'oxygène et diminue graduellement après l'émission du pollen.

Des phénomènes analogues se présentent, chez les animaux, pendant l'exercice des *fonctions génitales*, et l'expression de *chaleur*, comme synonyme de l'état de *rut*, semble prouver que l'élévation de température dont sont alors le siége les organes auxquels ces fonctions sont dévolues, est manifeste pour tout le monde (3). — D'ailleurs, cette élévation de température trouverait, à défaut de toute autre cause plus spéciale, une explication satisfaisante dans la fluxion sanguine qui envahit alors ces organes.

A défaut d'observations directes, qui nous permettent d'évaluer la production de chaleur qu'entraîne, chez les animaux, l'exercice des fonctions génitales, nous pouvons déduire cette production de l'amaigrissement rapide qu'on remarque chez plusieurs d'entre eux à l'époque de l'accouplement. — En voici un exemple des plus curieux. Dans les districts de l'Amérique du Nord, les ours (*Ursus americanus*), engraissés par l'usage abondant des fruits alors en pleine maturité, s'accouplent au mois de septembre. Les femelles se réfugient dans leurs cavernes, où l'œil de lynx du chasseur indien parvient rarement à les découvrir. Mais les

(1) *Archives génér. de médecine*, 1846, Supplément.
(2) *Traité de physiologie*, traduit par Jourdan, t. IX, p. 646.
(*) Page 1100.
(3) BURDACH, *Traité de physiologie*, etc., t. II, p. 439.

mâles, épuisés et amaigris par la poursuite des femelles, ont besoin de dix à douze jours pour recouvrer à peu près leur embonpoint primitif. Si l'hiver est très précoce, ces animaux n'ont pas le temps d'acquérir de nouveau toute la graisse qui leur est indispensable pour passer cette saison; ils se hâtent alors d'émigrer. C'est ainsi qu'on les voit pénétrer dans les États-Unis par le nord : ils sont alors très maigres, et ne sont accompagnés que par un fort petit nombre de femelles (1). — D'après ce que nous savons sur le rôle de la graisse accumulée ainsi périodiquement dans l'économie, aux approches des froids, nous pouvons conclure de la rapide disparition de ce produit, à l'époque du rut des animaux dont il est ici question, que cet acte entraîne un surcroît d'activité dans les combustions respiratoires, et, par suite, dans la production de chaleur qui en est la conséquence.

Quant au coït lui-même, il s'accompagne le plus souvent d'un trouble général, d'efforts et d'un état fluxionnaire local qui peuvent rendre raison, en majeure partie du moins, de l'augmentation de chaleur produite; et, par opposition, le collapsus qui succède à cet acte explique le refroidissement que l'on observe alors. Une évaluation thermométrique de ces diverses transitions a été recueillie dans un cas particulier, et communiquée à H. Roger, qui l'a consignée dans le travail que nous avons déjà cité (2).

L'élévation du chiffre de l'*acide carbonique* exhalé par la femme en état de *grossesse* (3) autorise à conclure que la femme produit alors plus de chaleur; mais il n'existe, à notre connaissance, aucune expérience thermométrique qui mette ce fait en évidence.

Ev. Home (4) rapporte, d'après Granville, les évaluations numériques suivantes de la température de l'utérus durant la parturition : 42°,22 pendant l'accouchement normal; 40°,56 après la délivrance; 37°,75 dans un accouchement à sept mois; 35°,25 dans un accouchement par le forceps; 48°,85 pendant les fortes douleurs; 43°, 25 après la sortie de l'enfant; et enfin 46° à la suite d'un accouchement laborieux. — Plusieurs de ces évaluations sont sans doute exagérées, notamment celles qui dépassent 43°,20, maximum observé jusqu'ici dans l'état pathologique.

Chez les oiseaux, à la suite de la ponte, les vaisseaux de la peau du ventre se congestionnent, et il en résulte un accroissement de chaleur (5). — Valenciennes (6) a vu un thermomètre, placé au milieu des œufs sous une poule couveuse, osciller entre 42° et 56°. — L'élévation de ce dernier chiffre ne peut s'expliquer que par l'accumulation de la chaleur produite dans les œufs et dans l'air ambiant, en conséquence de l'imparfaite conductibilité de ce milieu.

Les variations de chaleur qui accompagnent l'incubation, chez la femelle du serpent Python (*P. bivittatus*), ont été aussi de la part de Valenciennes (7) l'objet d'une étude suivie. — L'animal restait habituellement caché sous des couvertures de laine, dans une caisse de bois munie d'un double fond, qui recevait chaque

(1) RICHARDSON, *Fauna Boreali-Americana*, etc. London, 1829, in-4, p. 16.
(2) *Arch. génér. de médecine*, 4e série, t. V, p. 296.
(3) GAVARRET, *De la chaleur produite par les êtres vivants*, p. 354.
(4) *On the Influence of Nerves and Ganglions in producing Animal Heat*, in *Philosph. Transact.*, 1825, p. 257.
(5) BURDACH, *Traité de physiologie*, t. II, p. 436.
(6) *Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris*, t. XIII, p. 127.
(7) *Loc. cit.*

matin une certaine quantité d'eau chauffée à 60° ou 70°; par ce moyen, l'air de la caisse offrait une température qui oscillait entre 20° et 25°. — Le 6 mai, la ponte eut lieu : elle se composait de quinze œufs. La mère les rassembla sous les couvertures en un tas, qu'elle entoura et couvrit de ses spires disposées en un cône dont sa tête formait le sommet. — Jusqu'au 13 mai, la température prise entre les spires et sur les œufs offrait sur l'air de la caisse un excès de 16° à 18°; à partir de ce jour jusqu'au 23, cet excès descendit à 14°,5, puis à 12°,1; du 24 mai au 9 juin, il demeura presque stationnaire entre 11° et 11°,7; du 9 au 28 juin, il oscilla de 10° à 13°,5, et le 1er juillet, il n'était plus que de 3°. Alors, sans doute, l'incubation était arrivée à son terme, car l'animal abandonna sa couvée le 4, et l'éclosion commençait. — Il faut noter que, du 6 mai au 3 juillet, le reptile ne changea pas de position, qu'il ne prit aucune nourriture solide, et qu'il se borna à boire abondamment à cinq reprises différentes. Cette dernière circonstance semble prouver qu'alors il endurait à une sorte d'état fébrile.

Pour compléter ces curieuses observations, il nous manque un élément important, emprunté aux modifications que les phénomènes chimiques de la respiration présentent concurremment avec les variations de la température. — C'est un sujet qui mérite d'autant plus d'être suivi, qu'au point de vue de la quantité de chaleur produite, les reptiles, dans les conditions que nous venons d'étudier, semblent se rapprocher momentanément des mammifères et même des oiseaux.

I. — Durant le *sommeil*, l'organisme animal tombe dans le repos le plus complet. Nous avons déjà fait connaître l'influence que cet état exerce en particulier sur les phénomènes respiratoires (*) : une influence correspondante doit se produire et se produit en effet sur la chaleur animale.

Dans ses expériences, Chossat (1) a trouvé que la température normale des pigeons, qui, à midi, était de 42°,22, descendait à minuit à 41°,48. Cette différence de 0°,74 augmentait dans des proportions considérables sous l'influence de la privation d'aliments et de boisson. En divisant en trois périodes d'égale longueur le temps qui séparait le premier jour de l'inanition complète du dernier, Chossat a constaté que la différence entre les températures, à midi et à minuit, devenait successivement égale à 2°,3, 3°,2, 4°1. Il importe, d'ailleurs, de remarquer que c'est surtout la température prise pendant le sommeil qui subissait une forte dépression : dans les périodes indiquées plus haut, elle descendait du chiffre normal 41°,48 à 39°,8, puis à 38°,7, et enfin à 37°,3. Au contraire, la température à midi ne s'éloignait guère, pendant toute la durée de l'expérience (**), du chiffre de 42°,22 qu'elle offrait au début. Elle présentait, en effet, les valeurs suivantes : 42°,1, 41°,9, 41°,4. — En même temps, la respiration subissait des modifications du même ordre : le nombre des inspirations descendait en moyenne à 25 par minute durant la première période; à 23 durant la seconde, et à 21 durant la troisième. — Ce qui prouve, d'ailleurs, que la diminution de chaleur indiquée était bien réellement la conséquence du ralentissement des

(*) Voy. ci-dessus, p. 570.

(1) *Loc. cit.*

(**) Le jour de la mort des animaux soumis à l'inanition est laissé en dehors des calculs qui précèdent : ce jour-là, les accidents s'accéléraient trop rapidement pour pouvoir faire entrer les valeurs thermométriques correspondantes dans le calcul des moyennes des trois périodes précédemment admises.

phénomènes respiratoires pendant le sommeil, c'est qu'il suffisait de réveiller les animaux et de les maintenir dans l'état de veille, en les excitant sans cesse, pour les voir se réchauffer à mesure que leur respiration s'accélérait, et atteindre rapidement le chiffre de la température qu'ils offraient normalement à midi.

Ces résultats, obtenus avec des animaux appartenant à différentes classes, peuvent s'appliquer à l'homme: ils rendent raison de la plus grande impressionnabilité du corps pendant le sommeil, et des précautions que cet état réclame pour éviter l'action des influences morbides extérieures, qui sont d'autant plus à craindre qu'on leur oppose alors une moindre résistance.

Le *sommeil hibernal* est l'état physiologique le plus propre à mettre en évidence l'intime relation qui existe entre la température propre des animaux et les phénomènes physico-chimiques de la respiration.

Lorsque les mammifères hibernants (*marmotte*, *hérisson*, *lérot*, *chauve-souris*, etc.) sont complétement éveillés et convenablement nourris, ils ne présentent rien de particulier sous le rapport du nombre des mouvements respiratoires et du cours du sang, ni sous celui de la quantité d'oxygène qu'ils absorbent et d'acide carbonique qu'ils exhalent. Aussi leur température se maintient-elle à peu près au même chiffre que celle des autres animaux de la même classe et de l'homme lui-même (1).

Mais, à mesure que la température extérieure s'abaisse et qu'arrive l'arrière-saison, la respiration et la circulation deviennent languissantes; l'absorption d'oxygène et l'exhalation d'acide carbonique diminuent, et la chaleur propre de l'animal subit une dépression correspondante.

Lorsque l'engourdissement est complet, la consommation d'oxygène est considérablement réduite. Regnault et Reiset (2) ont constaté, chez des *marmottes*, que cette consommation ne s'élève souvent qu'à 1/30e de ce qu'elle est pendant l'état de veille; ils pensent même que ce chiffre peut aussi subir une réduction, quand la température à laquelle les animaux se trouvent exposés est beaucoup plus basse qu'elle ne l'était dans leurs expériences. — Au contraire, pendant la période de leur réveil, la proportion d'oxygène consommé est beaucoup plus considérable que lorsque le réveil est complet; l'élévation de la chaleur propre suit une marche non moins rapide et en rapport avec l'accélération des mouvements respiratoires et avec l'activité croissante de la circulation.

Il est important de noter, avec ces mêmes observateurs, que la proportion d'acide carbonique exhalé pendant le sommeil hibernal ne représente qu'une partie de l'oxygène absorbé, quelquefois les *quatre dixièmes* seulement : le reste de l'oxygène est employé à former de l'*eau* qui, s'accumulant en partie dans la vessie, augmente notablement le poids de l'animal. — C'est ici une nouvelle preuve de la combustion directe de l'hydrogène dans l'économie, et de la nécessité d'accorder, dans le calcul de la chaleur produite, une très grande valeur au chiffre de l'oxygène absorbé dans l'acte respiratoire.

La température des animaux plongés dans l'engourdissement hibernal est toujours de quelques degrés plus élevée que celle du milieu qui les environne. Les

(1) Saissy, *Recherches expérimentales, anatomiques, chimiques, etc., sur la physique des animaux mammifères hibernants*, etc., in-8. Paris, 1808, p. 11.
(2) *Ann. de chim. et de phys.*, 3e série, t. XXVI, p. 516.

froids les plus rigoureux, naturels ou artificiels, ne la font pas baisser jusqu'à *zéro*, sans déterminer la mort (1).

D'après ce qui précède, on voit que les animaux dont nous parlons, bien qu'appartenant, pendant leur état de veille, à la classe des vertébrés à *température constante*, rentrent, sous l'influence de l'engourdissement hibernal, dans celle des vertébrés à *température variable*.

Le phénomène de l'*hibernation*, qui doit son nom à l'époque de l'année à laquelle il se manifeste dans nos climats, nous paraît beaucoup plus général qu'on ne le suppose.

Dans les régions tropicales, on observe un engourdissement tout à fait semblable chez des animaux de diverses classes. A Madagascar existe un mammifère carnassier, le *tanrec*, dont on connaît trois espèces qui passent trois mois de l'année en léthargie; Brugière assure même que c'est au moment des plus grandes chaleurs (2).

Comme, à cette même époque, l'extrême sécheresse a fait disparaître les insectes dont se nourrit cet animal, qui se rapproche beaucoup de notre hérisson, il est vraisemblable que le sommeil qui s'empare de lui est une conséquence de l'impossibilité dans laquelle il se trouve de pourvoir à sa subsistance, et qu'il y a subordination entre ce dernier phénomène et le premier.

Notons, d'ailleurs, que le froid n'est pas une condition essentielle à l'engourdissement des animaux hibernants de nos climats. La quarante-troisième expérience de Regnault et Reiset en est la preuve; elle se fit le 17 juin, par une température de 20°, sur une marmotte éveillée depuis longtemps. Le premier jour, l'animal mangea la majeure partie de la nourriture placée à sa disposition; il s'endormit le second jour, et ne se réveilla qu'au moment où on le sortit de l'appareil, après soixante-huit heures de séjour. La respiration, qui était très active, se ralentit considérablement au moment du sommeil, et la consommation d'oxygène tomba de 1gr.,7 par heure à 0,8. — Il est regrettable que la température de cette marmotte n'ait pas été déterminée aux différentes phases de l'expérience; elle aurait sans doute présenté des oscillations qui auraient pu s'expliquer par le ralentissement de l'absorption d'oxygène et la perte en poids éprouvée par l'animal, perte due probablement à l'exhalation cutanée et qui s'éleva à près de 13 pour 100 du poids initial.

Quoi qu'il en soit, il semble rationnel d'admettre, comme se rattachant au phénomène de l'hibernation, l'état de léthargie dans lequel tombent les reptiles et plusieurs autres animaux des pays chauds pendant la saison sèche, et même dans nos climats, durant les grandes chaleurs de l'été, alors que la nourriture vient à leur manquer par la retraite ou la métamorphose des insectes dont ils font habituellement leur pâture.

Cette assimilation est d'autant plus vraisemblable, que déjà Regnault et Reiset (3) ont montré que les *chrysalides des vers à soie*, durant leur état de torpeur, offrent, au point de vue des combustions respiratoires, des conditions analogues à celles des animaux hibernants.

Enfin, n'est-on pas fondé à rapprocher de l'état hibernal les conditions dans les-

(1) SAISSY, *loc. cit.*, p. 14.

(2) CUVIER, *Règne animal distribué d'après son organisation* (Mammifères), p. 151, édition de Fortin et Masson.

(3) *Loc. cit.*, *87e expérience*, p. 188.

quelles se trouvent, pendant l'hiver, un grand nombre d'animaux de nos climats, qui, chaque année, aux approches de l'automne, se gorgent d'aliments, comme en prévision de la disette qui les menace dans un avenir prochain? Ils deviennent extrêmement gras, et sont alors en mesure de pouvoir passer la saison rigoureuse, blottis sous des abris et dans un état d'engourdissement assez voisin du sommeil des animaux hibernants, vivant aux dépens de la graisse accumulée dans leurs tissus, et réduisant le plus possible leur consommation d'oxygène. — Nous pouvons citer comme exemples la plupart des *plantigrades* des pays froids, et, en particulier, les *ours*, « qui se creusent des antres ou se construisent des cavernes où ils passent l'hiver, dans une somnolence plus ou moins profonde et sans prendre d'aliments (1). » Ne sommes-nous pas fondés, d'après ce qui précède, à admettre que, chez ces animaux, la production de chaleur subit alors une réduction proportionnelle à celle des phénomènes chimiques de la respiration, qui ne sauraient être bien actifs pendant l'état de somnolence et d'immobilité? Rappelons encore que Spallanzani (2) parle d'une espèce d'*hirondelles*, bien différentes de celles de nos climats, qui passeraient l'hiver sous l'eau et même sous la glace, où on les aurait trouvées par centaines, entrelacées et formant de véritables pelotons. — Dans cet état d'engourdissement et dans un pareil milieu, la température de ces oiseaux doit être peu différente de celles des animaux des classes inférieures.

Des expériences, entreprises en vue de la solution de ces divers problèmes, ne peuvent manquer de conduire à des résultats importants pour l'étude de la chaleur animale.

J. — L'influence des *conditions thermiques* et *hygrométriques* du milieu ambiant sur la chaleur propre du corps se montre dans un assez grand nombre de circonstances, dont les plus fréquentes sont le séjour plus ou moins prolongé dans des espaces clos, artificiellement échauffés, le passage dans un autre climat et le changement de saison.

Nous allons d'abord étudier les effets des températures peu éloignées de celle du corps : nous examinerons ensuite les effets des températures extrêmes ou excessives.

Dans une fabrique de coton de Deanstone, aux environs de Doune (Stirlingshire), John Davy (3) a fait les observations suivantes : Après six heures de travail, dans la chambre d'assemblage, où la température produite par un mélange d'air chaud et de vapeur s'élevait à 33°,3, un ouvrier âgé de cinquante-deux ans, jouissant d'une bonne santé, présentait 64 pulsations, et faisait monter à 38° le thermomètre placé sous la langue. — La température de la chambre adjacente n'était qu'à 22°,8, et celle d'une jeune femme, qui y travaillait, était à 37°,2. — Enfin, l'air de la grande pièce à tisser, où trois cents personnes étaient réunies, ne dépassait pas 15°,3, et la chaleur propre d'une autre jeune femme, mesurée sous la langue, ne montait qu'à 36°,4.

Ces expériences tendent déjà à prouver que, chez l'homme, la chaleur propre s'élève ou s'abaisse avec la température ambiante.

Le changement de climat amène des résultats semblables. — Eydoux et Sou-

(1) CUVIER, *loc. cit.* (Mammifères), p. 163.
(2) *Opuscules de physique animale*, etc., t. I, p. 106.
(3) *Ann. de chimie et de physique*, 3e série, t. XIII, p. 182.

leyet (1) ont pris, à bord de la *Bonite*, des observations suivies, dont le nombre dépasse 4000, sur dix hommes de l'équipage, d'âge et de tempérament différents : ils étaient soumis au même régime et occupés aux mêmes travaux, huit sur le pont et deux dans la cale. Commencées en avril 1836, pendant le séjour du navire à Rio-Janeiro, ces observations eurent lieu tous les jours, à trois heures de l'après-midi, jusqu'à l'arrivée en France le 6 novembre 1837, et ne furent interrompues que dans la plupart des relâches et pendant les mauvais temps à la mer. Le résultat général fut que la température du corps s'élève ou s'abaisse en même temps que celle du milieu ambiant. — Quand le passage avait lieu de pays chauds dans des régions froides, le changement était d'abord assez lent ; au contraire, il était plus rapide lorsque des contrées froides on se dirigeait vers la zone torride. — Ce double mouvement était d'ailleurs plus ou moins marqué suivant les individus. — La température moyenne des hommes observée au cap Horn, par 59° lat. sud, l'air étant à 0°, a donné une différence approximative de 1°, avec la moyenne offerte par ces mêmes hommes dans le Gange, près de Calcutta, par une température extérieure de + 40°. Ainsi, une variation de 40° dans la température ambiante n'a déterminé dans celle des hommes qui s'y trouvaient soumis qu'une différence de 1°.

Ces observations s'accordent avec celles de John Davy (2) qui, dans un voyage d'Angleterre à Ceylan, a trouvé que la température de treize individus bien portants s'était élevée de près de 1° (0°,92), après qu'ils eurent été exposés pendant près d'un mois à la chaleur des tropiques ; un séjour de trois semaines dans des parages où le temps était humide et froid, et où le thermomètre ne marquait plus que + 15°,5, fit baisser en moyenne de 1°,20 la température des individus qui y étaient soumis.

Enfin, les expériences de Letellier (3), sur des oiseaux et de petits mammifères, l'ont conduit à des résultats concordant avec les observations que nous venons de citer, résultats qui se résument ainsi : abaissement de la chaleur propre sous l'influence du froid ; élévation sous celle d'une température chaude, c'est-à-dire supérieure à + 30°. — Dans ces expériences, l'absorption d'oxygène et l'exhalation d'acide carbonique suivaient une marche inverse de celle de la température de l'air au sein duquel l'animal était plongé : elles étaient d'autant moindres que cette température était plus élevée, et d'autant plus considérables que cette température était plus basse (*).

Ces modifications dans l'activité des combustions respiratoires, survenues sous l'influence des variations de la température ambiante, persistent après la cessation de la cause qui les a fait naître : c'est ce qui résulte de quelques expériences de W. Edwards (4). Ce physiologiste voulut comparer le temps que des oiseaux (*bruants* et *verdiers*) mettaient à consommer en hiver et en été un même volume d'air maintenu à la température de 20° ; il reconnut que la consommation est sensiblement plus rapide en hiver dans le rapport de 1°,3 à 1 environ.

(1) *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences de Paris*, t. VI, p. 456. — Rapport de DE BLAINVILLE.

(2) *Ann. de chimie et de phys.*, 2e série, t. XXII, p. 434 et 435.

(3) *Ann. de chimie et de phys.*, 3e série, t. XIII, p. 488 et 490.

(*) Voir ci-dessus, p. 575.

(4) *Influence des agents physiques sur la vie*, p. 200.

Comme conséquence de cette activité plus grande des phénomènes chimiques de la respiration pendant l'hiver, on pourrait admettre *à priori* que, dans cette dernière saison, il se produit plus de chaleur, ou, ce qui revient au même, que le même animal résiste mieux au froid qu'il ne pourrait le faire en été. — Mais le fait a été démontré expérimentalement, et c'est encore à W. Edwards (1) que la science en est redevable. Il a renfermé des moineaux adultes dans une enceinte limitée, dont la température était maintenue à *zéro*, au moyen d'un bain de glace fondante; après une heure de séjour, ces oiseaux avaient perdu en moyenne :

0°,40 au mois de février (air extérieur à 12°).
1°,62 au mois d'août (id. à 20°).
3°,62 au mois de juillet (id. à 26°).

Malgré ces expériences, il ne faudrait pas se hâter de conclure que les habitants des pays septentrionaux supportent mieux les rigueurs du froid que ne le font ceux des contrées méridionales, car c'est précisément le contraire qui paraît avoir lieu. « Dans le Nord, dit Ch. Martins (2), on est frappé de voir les épaisses fourrures dont se couvrent les Russes, les Suédois, les Norvégiens, par des températures où, en France, on se contente d'un simple surtout. Je n'oublierai jamais la chaleur étouffante qui régnait dans les chambres des paysans finlandais, le long du fleuve Muonio, en septembre 1839 : elle s'élevait en général à 20° et 25° centigrades, et, non contents de cette température, ces paysans couchaient autour du poêle; quant à Auguste Bravais et à moi, nous préférions dormir dans la grange, où le thermomètre oscillait autour de zéro pendant la nuit. »

Plus loin, il ajoute : « Les Russes, les Suédois et les Polonais qui viennent passer l'hiver à Montpellier, se plaignent de grelotter dans les appartements, tandis qu'en plein air, et par un beau soleil, ils peuvent se croire au printemps et quelquefois même en été. »

D'autres faits mettent en évidence cette moindre impressionnabilité au froid des habitants de l'Europe méridionale et de l'Algérie. Dans la retraite de Moscou, en 1812, les régiments italiens résistèrent mieux que les allemands aux rigueurs du froid, qui exerçait en même temps les plus grands ravages dans l'armée russe. Les Turcos ont présenté la même immunité relative au siége de Sébastopol. Enfin, on sait que, dans nos possessions algériennes, les Arabes ont coutume de bivouaquer en plein air, simplement enveloppés dans leurs burnous.

Il est à remarquer que cette aptitude à supporter le froid extérieur peut s'acquérir et se perdre tour à tour. On sait que les habitants de nos climats tempérés, acclimatés dans les pays chauds par un séjour suffisamment prolongé, sont moins sensibles au froid pendant les premiers temps de leur retour, et qu'après quelques années cette insensibilité, qui va toujours en décroissant, finit par disparaître. Ch. Martins cite à ce sujet un savant distingué qui a éprouvé ces effets à son retour de la Martinique, où il avait pratiqué la médecine pendant vingt-cinq ans.

On observe un phénomène du même genre, après être resté quelque temps dans une chambre bien chauffée : l'air extérieur nous semble moins froid qu'à ceux qui y sont exposés depuis longtemps; comme aussi, et par opposition, nous éprouvons une sensation contraire dans la transition du froid au chaud.

Ces phénomènes qui dépendent des conditions physiologiques de sensibilité

(1) *Loc. cit.*, p. 163.
(2) *Du froid thermométrique*, et de ses relations avec le froid physiologique, etc. (*loc. cit.*).

n'ont sans doute que des relations fort éloignées avec les phénomènes physico-chimiques de la calorification.

Nous avons déjà vu (*) que la chaleur propre des êtres vivants se perd au fur et à mesure qu'elle se développe, et que cette perte a lieu par le *rayonnement*, par le *contact direct de l'air ambiant*, et enfin par l'*évaporation*, dont la peau et la membrane muqueuse des voies aériennes sont incessamment le siége.

Pour compléter ce qui nous reste à dire sur ce sujet, nous formerons de tous les faits qui s'y rattachent deux groupes distincts, dont l'un comprendra les moyens de *résister aux températures très basses*, et l'autre ceux de *supporter les températures très élevées.*

La *résistance aux températures très basses* n'est possible, pour l'homme, qu'à la condition de se couvrir de *vêtements* convenables, de se ménager des *abris*, de faire usage d'*aliments* appropriés à la circonstance, de se donner un *mouvement* suffisant, et, enfin, d'être doué d'une bonne constitution et d'une certaine énergie morale.

Les *vêtements* sont une nécessité de notre nature. « Ils ont, dit Ch. Martins (1), un triple effet physique : 1° ils emprisonnent la couche d'air échauffée par la surface cutanée; 2° ils s'opposent à une évaporation trop active; 3° ils ralentissent et atténuent l'influence de l'air ambiant et du rayonnement des objets environnants sur la peau. Conserver autour du corps cette couche d'air échauffée, sans empêcher l'eau évaporée par la transpiration de s'échapper au dehors, tel est le problème du vêtement. »

Nous n'avons point à nous occuper ici des diverses questions relatives au nombre, à la nature et à la forme de ces enveloppes artificielles; nous n'ajouterons rien non plus à ce que nous avons dit plus haut (**), sur les changements que subissent, aux différentes époques de l'année, les enveloppes naturelles des animaux.

Mais nous croyons opportun, afin d'en faire ressortir l'utilité, de rappeler une expérience de Becquerel et Breschet (2), qui, après avoir complétement tondu un lapin, lui couvrirent la peau d'un enduit imperméable. La température de l'animal, prise sous l'aisselle au moment de l'opération, était de 38°; une heure et demie après, elle était descendue à 20°, l'air ambiant en marquant 17° : une perte de chaleur aussi rapide et aussi considérable fut très promptement suivie de la mort de l'animal.

Tous les animaux cherchent à se soustraire aux atteintes d'un froid rigoureux, en se réfugiant sous des *abris*, ou se cachant dans des retraites que la nature leur offre ou qu'ils savent se construire.

L'importance de ces abris trouve son explication, d'une part dans la déperdition énorme de chaleur qui résulte du rayonnement du corps vers l'espace, et, de l'autre, dans le refroidissement excessif que déterminent les mouvements de l'air qui nous environne.

(*) Page 1089.

(1) *Du froid thermométrique, et de ses relations avec le froid physiologique, etc.* (*Mémoires de l'Académie des sciences de Montpellier*, 1859, t. IV).

(**) Voir page 1090.

(2) *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, t. XIII, p. 794.

Aux faits que nous avons cités à l'appui de cette double influence (*), nous ajouterons ce qui suit :

Bravais et Martins (1), dans le rapport sur leur mission dans les Alpes, s'expriment en ces termes : « Déjà, en Laponie, nous avions vu des *lemmings* périr pendant la nuit, tués par un froid de quelques degrés au-dessous de zéro. Un *campagnol des neiges*, mis dans un vase profond et exposé au rayonnement nocturne pendant une nuit sereine, fut trouvé mort vers quatre heures du matin. Cependant le thermomètre ne s'était pas abaissé au-dessous de — 0°,3, et la température du fond du vase était, à minuit, de + 0°,1 (**). »

Voici un autre fait qui prouve que, dans nos climats, le refroidissement par rayonnement nocturne peut prendre très rapidement des proportions considérables et préjudiciables à la santé : « Durant l'hiver de 1829 à 1830, dit Fournet (2), j'habitais la vallée de la Sioule, en Auvergne. La température y fut si rude, que, revenant un soir des mines, j'eus le nez gelé superficiellement pour avoir regardé durant quelques instants le ciel, dont l'aspect bronzé me frappait vivement : c'était un simple effet de rayonnement vers l'espace, dont je ne fais mention que parce qu'il peut donner une idée du froid qui régnait dans ce bas-fond. »

Rien n'est plus propre à montrer combien les abris sont indispensables pour combattre la funeste influence d'un froid excessif, que les ressources offertes en ce genre au capitaine Ross et à ses compagnons, par des huttes de neige qu'ils se construisaient à l'exemple et avec l'assistance des Esquimaux (3). Ces huttes étaient faites avec des assises de neige gelée, coupées en morceaux carrés et cimentées avec de l'eau ; elles avaient la forme d'un dôme et une hauteur d'environ $1^m,22$. La pièce principale mesurait $3^m,25$ à $4^m,90$ de diamètre, suivant le nombre des habitants qu'elle devait recevoir ; tout autour était établi un banc de neige bien nivelée, de $0^m,66$ de hauteur, sur lequel on étendait des peaux et qui servait de lit. — Une vitre ovale de glace, enchâssée dans la neige du côté de l'est, laissait pénétrer un peu de lumière du dehors. — Une lampe, alimentée avec de l'huile de poisson et de la mousse, concourait aussi à éclairer et à réchauffer les hôtes de cette demeure, en même temps qu'elle servait à cuire leurs aliments. — Un passage long et tortueux précédait l'entrée de la hutte. — Enfin, un embranchement et un réduit à part étaient réservés pour les chiens qui, dans ces climats désolés, permettent à l'homme de se transporter rapidement d'un lieu à un autre, en lui fournissant l'attelage de ses traîneaux. — Dans ces murs de neige, les Anglais se trouvaient *chaudement* et à l'aise. Ils y dormaient par une température de — 26°,11, tandis qu'à l'extérieur le thermomètre accusait — 34°,44.

Nous n'ajouterons rien aux considérations sur lesquelles nous nous sommes

(*) Voir pages 1090 et 1091.

(1) *Moniteur universel*, numéro du 27 octobre 1844.

(**) Le campagnol des neiges ne se trouve jamais au-dessous de 2200 mètres ; or, l'expérience dont il vient d'être fait mention a été exécutée au sommet du Faulhorn, à une hauteur de 2675 mètres, c'est-à-dire, dans la limite des régions qu'habite ordinairement cet animal : on ne serait donc pas fondé à chercher la cause de sa mort ailleurs que dans le refroidissement par rayonnement nocturne, résultant du défaut d'abri.

(2) *Sur l'interversion de la température atmosphérique dans les hivers rigoureux*, par Fournet, professeur à la Faculté des sciences de Lyon (*Annales de chimie et de physique*, 1839, *t. LXXII*, *p.* 312).

(3) Ross, *Narrative of a Second Voyage*, etc., p. 165.

appuyé précédemment (*), pour montrer que le *régime alimentaire* doit être approprié aux saisons et aux climats, au double point de vue de la nature et de la quantité des substances qui le constituent. C'est sans contredit, dans ce régime, que l'homme, par sa nature cosmopolite, peut trouver les moyens de résister efficacement aux froids les plus rigoureux des hautes montagnes et des régions polaires.

Toutefois une alimentation convenable, des vêtements suffisants et une retraite assurée contre les intempéries, seraient impuissants à protéger l'homme contre les effets d'un froid excessif, s'il n'y joignait pas une certaine *activité corporelle*. — « Rien, dit Spallanzani (1), ne prouve mieux l'efficacité du mouvement contre le froid, que le récit de quelques Hollandais qui passèrent l'hiver au Spitzberg, situé au 78e de latitude, et où l'on éprouve un froid plus cuisant qu'en aucun autre lieu connu. Ceux qui s'enfermèrent au commencement de l'hiver dans les cabanes de bois qu'ils avaient faites pour se garantir du froid, moururent de froid l'un après l'autre auprès du feu qu'ils faisaient pour se réchauffer; au lieu que ceux qui vivaient à l'air libre, qui s'occupaient à la chasse et au charriage du bois ou à d'autres exercices, conservèrent leur santé et leur vigueur. »

Ch. Martins (2) a décrit de la manière la plus émouvante la triste situation d'un pauvre voyageur parti avec le dessein de traverser un des cols couverts de neiges éternelles, qui conduisent du Valais en Piémont, et surpris par une tempête de neige sous laquelle disparaissent les traces qui devaient le guider dans sa route. « ... Transi, égaré, harassé, ne voyant pas à deux pas devant lui, il est pris d'un besoin de dormir irrésistible; il sait que ce sommeil c'est la mort. Mais, perdu, désespéré, il cherche en tâtonnant quelque rocher, et, s'abandonnant pour ainsi dire lui-même, il se couche pour ne plus se relever. Son pouls se ralentit peu à peu, comme dans la léthargie, et il meurt de froid comme on meurt d'inanition. L'énergie morale est dans ces moments l'unique moyen de salut. Il faut à tout prix combattre le sommeil, marcher, trépigner et lutter contre le froid par l'exercice musculaire. Jacques Balmat, qui le premier, en 1786, fit l'ascension du Mont-Blanc, le savait bien. Il était parvenu seul au grand plateau, à 3930 mètres. Là il fut surpris par la nuit; monter au sommet dans l'obscurité était impossible, redescendre l'était également. Il prit vaillamment son parti, et se promena de long en large sur la neige, jusqu'à ce que l'aube eût paru. »

Une *bonne constitution* et une certaine *énergie morale* sont aussi de puissants auxiliaires contre un froid rigoureux. Le capitaine Ross (3) a traité avec soin cette question importante. A quoi bon, dit-il, donner des vêtements à celui qui, par lui-même, est incapable de produire de la chaleur. Ce serait prétendre échauffer un morceau de glace en l'enveloppant d'une couverture. — Sans s'arrêter à expliquer le fait, il regarde comme certain que les hommes doués d'un grand appétit et digérant bien sont plus aptes que les autres à produire de la chaleur : le tempérament sanguin est aussi une condition favorable, surtout quand il s'accompagne d'un caractère énergique, qui conserve sa confiance et son espoir au milieu des

(*) Voir plus haut, p. 1112.

(1) *Opuscules de physique animale et végétale*, t. I, p. 94.

(2) *Loc. cit.*

(3) *Loc. cit.*, p. 136 et p. 124.

circonstances les plus critiques. — Ce célèbre navigateur des mers polaires avait déduit de ses observations un mode d'épreuve auquel il soumettait, avant de partir, les matelots qu'il se proposait d'engager. Il leur faisait poser un pied nu sur la glace : ceux qui ne tremblaient ni ne pâlissaient, étaient choisis par lui, les autres refusés (1).

Lorsqu'il y a insuffisance dans les moyens de *résistance au froid*, il arrive un moment où la perte de chaleur atteint sa limite extrême, au delà de laquelle la vie se trouve menacée.

Currie (2) fit descendre un homme dans un bain d'eau salée, qui marquait 4°,44 au-dessus de zéro. La température de cet homme était de 34°,44 : au moment de l'immersion, elle descendit à 28°,33 ; en treize minutes, elle remonta irrégulièrement à 33°,33, et demeura stationnaire, à quelques variations près, pendant dix-neuf minutes. Alors elle recommença à descendre irrégulièrement, mais rapidement : en trois minutes, elle était à 29°,44. Après un séjour de trente-cinq minutes dans l'eau, on jugea prudent d'en faire sortir le patient, qui était en proie à un violent frisson. Il fallut, pour le rétablir, le plonger dans un bain à 35°,56, que l'on réchauffa graduellement jusqu'à 42°,78; en vingt minutes, il avait recouvré sa chaleur première. Le séjour dans un lit bien chaud donna lieu à une transpiration abondante, qui marqua le retour à la santé.

Cette expérience de Currie fait partie d'un travail entrepris par ce médecin, dans le but de trouver l'explication des effets observés pendant un naufrage sur les hommes qui composaient l'équipage. Il ne mourut aucun de ceux qui restèrent plongés dans l'eau, dont la température était de + 3°,33 à + 4°,44, celle de l'air étant de — 1°,11 à + 0°,56 (*). Tous ces hommes, bien qu'immergés, furent tourmentés par la soif, et malgré le froid qu'ils ressentaient, ils n'éprouvèrent pas de tendance à l'assoupissement et ne se laissèrent pas aller au sommeil précurseur de la mort : ils cherchèrent, au contraire, à combattre, par des mouvements incessants, l'engourdissement qui envahissait leurs extrémités inférieures. Au contraire, le maître du navire, le capitaine et le cuisinier, placés de manière à être tour à tour immergés ou à découvert, exposés à la pluie et au vent, ne tardèrent pas, sous l'influence du froid dû à l'évaporation de l'eau qui imprégnait leurs vêtements, à s'affaiblir, à être pris de troubles intellectuels et de mouvements convulsifs ; leur voix s'éteignit peu à peu, et ils tombèrent dans un état comateux promptement mortel. — Ces malheureux sont évidemment morts de froid.

On peut donc admettre, d'après le fait emprunté au travail de Currie, que le terme de 29° est déjà menaçant pour la santé, et qu'au-dessous, à 25°, par exemple, la mort serait inévitable, si l'on n'était pas soustrait promptement à l'influence réfrigérante, et réchauffé par des moyens énergiques et soutenus.

Dans ses expériences sur l'inanition, Chossat (3) a reconnu que la température

(1) Ch. Martins, *Du froid thermométrique, et de ses relations avec le froid physiologique, etc.*

(2) Currie, *An Account of the remarkable Effect of a Shipwreck on the Mariner*, etc. (*Philosoph. Transact.*, 1792, t. I, p. 213).

(*) L'auteur anglais emploie les indications du thermomètre Fahrenheit, qui sont 75 à 77 pour la température de l'eau, et 30 à 33 pour celle de l'air. — La précision des indications du thermomètre centigrade pourrait paraître suspecte dans la position critique où se trouvaient les naufragés.

(3) *Mém. des savants étrangers*, 1843, t. VIII, p. 678.

des animaux privés d'aliments était au moment de la mort à 24°,9 en moyenne; le minimum fut observé chez un pigeon : il était de 18°,5.—Notons que, d'après le même auteur, dans les cas de section de la moelle épinière à différentes hauteurs, de lésions du cerveau, d'immersion dans un mélange réfrigérant, etc., la mort arrivait quand la température était descendue en moyenne à 24°,5 ; on peut fixer comme dernière limite 19°,8.

D'après W. Edwards (1), la mort est imminente, pour les mammifères, quand ils sont soumis à une soustraction de chaleur qui dépasse 15° à 20° : pour les jeunes animaux, une perte de 2° à 3° suffit pour les placer dans un état de souffrance visible. — Une expérience, que nous avons empruntée à Becquerel et Breschet (*), confirme la proposition émise par W. Edwards : la température de l'animal qui en fait le sujet baissa en une heure et demie de 38° à 20° : cette perte de 18° entraîna rapidement la mort.

Pour les Reptiles, les Poissons et les Invertébrés, la limite de refroidissement peut être portée très loin, sans que leur vie se trouve compromise. —Gaimard (2), pendant son séjour en Islande, dans l'hiver de 1828-1829, renferma dans une boîte pleine de terre, qu'il exposa à l'air extérieur, des *crapauds communs*, et des *crapauds des joncs* (*Rana bufo calamita*). Sous l'influence du froid qui régnait alors, la congélation des animaux fut complète : les fonctions restèrent suspendues; les espaces intermusculaires se remplirent de glaçons; les membres devinrent roides et cassants, et, en les brisant, on n'en faisait pas sortir une goutte de sang. Quelques minutes d'immersion dans de l'eau légèrement chauffée, suffisaient pour rappeler les animaux à la vie. — D'ailleurs, l'auteur fait observer que, pour réussir dans cette expérience, il importe que la congélation ne soit pas trop rapide.

Aug. Duméril (3) a fait des expériences semblables et est arrivé à des résultats analogues. Il a, de plus, consigné, dans son travail, des observations faites par son père, sur des *tritons* et des *grenouilles*, observations desquelles il résulte que ces animaux congelés par le froid se rétablissent parfaitement en se dégelant à l'air, tandis qu'ils meurent, quand on emploie, dans ce but, de l'eau, fût-elle à la température ordinaire. Ce dernier fait ne s'accorde pas avec les expériences de Gaimard.

Les insectes supportent quelquefois des froids très intenses, et l'on sait, par exemple, qu'après les hivers les plus rudes, il s'en trouve encore un grand nombre qui ont dû subir des températures inférieures à — 20°.

Mais les œufs des animaux inférieurs résistent encore mieux à l'action du froid que ne le font ces animaux eux-mêmes.

Bonnafous (4) a exposé, pendant le rigoureux hiver de 1829-1830, des œufs de vers à soie, à des températures de — 22°,50 et — 25°, sans que l'éclosion de ces œufs en ait éprouvé aucun retard. Bien plus, en 1837, il renferma 30 grammes de ces œufs de *race piémontaise* dans un bocal fermé d'une toile à jour, il exposa ce bocal sur la face extérieure d'un édifice situé sur le plateau du mont Cenis, à

(1) *Loc. cit.*

(*) Voir ci-dessus, p. 1123.

(2) *Biblioth. univ. de Genève*, 1840, t. XXVI, p. 207.

(3) *Annales des sciences naturelles* (Zoologie), 2e série, t. XVII, p. 13.

(4) *Biblioth. univ. de Genève*, 1838, t. XVII, p. 200.

2066 mètres d'altitude. Ces œufs y subirent l'action prolongée d'un froid d'au moins — 25° : on ne les retira qu'au mois d'avril 1838, et néanmoins l'éclosion en fut aussi complète que celle d'œufs de même race maintenus pendant l'hiver à des températures supérieures à zéro.

Il est vraisemblable que ces œufs étaient restés fluides, malgré le froid intense et soutenu auxquels ils avaient été soumis. C'est, du moins, ce qui avait lieu avec ceux que Spallanzani (1) soumettait à l'action de mélanges réfrigérants capables de produire parfois un abaissement de température égal à — 30°. Ces œufs provenant de divers insectes, et notamment du *bombyx* et du *papillon de l'orme*, n'étaient pas congelés par ce froid excessif, et leur éclosion n'en éprouvait aucun retard.

Quand le refroidissement auquel sont exposés les animaux supérieurs (*mammifères* et *oiseaux*) n'est que partiel au lieu d'être général, la limite peut en être portée extrêmement loin sans que la vie se trouve compromise.

J. Hunter (2) a soumis à la congélation des oreilles de lapins, des crêtes et des barbes de coqs, en les comprimant entre des plaques de fer préalablement refroidies par une immersion prolongée dans un mélange de glace et de sel marquant — 18°: après une heure de séjour entre ces plaques, ces organes étaient roides, crépitants et ne saignaient pas quand on les divisait avec des ciseaux. L'application du froid fut prolongée, dans une autre expérience, jusqu'à ce que l'organe gelé eût acquis la dureté d'une planche ; il dégela néanmoins, se réchauffa, s'épaissit, s'enflamma et finit par revenir à l'état normal. — Mais il importe de faire observer que ce retour à l'état normal n'est possible qu'autant que la chaleur pénètre avec une extrême lenteur dans la partie gelée. S'il en était autrement, cette partie ne tarderait pas à être frappée de gangrène.

Dès que le refroidissement des organes a atteint la limite à laquelle se solidifient leurs éléments liquides, cette solidification s'effectue d'une manière instantanée ; c'est, du moins, ce que l'on est en droit de supposer d'après le changement subit de couleur qui se montre dans les parties gelées. « Après quelque séjour dans une température qui ne peut nuire, dit le capitaine Ross, il suffit de tourner un angle pour être exposé à quelque courant d'air, dont l'effet est aussi soudain qu'inévitable ; la partie frappée de congélation change immédiatement de couleur. Celui qui éprouve cet accident est le seul qui ne s'en aperçoive pas. » — Ce célèbre navigateur faillit lui-même en être victime dans une excursion qu'il faisait en compagnie de plusieurs Esquimaux. Un coup de vent très fort sorti d'une vallée lui gela une joue ; un de ses compagnons de voyage s'en aperçut et s'empressa de faire une boule de neige dont il frotta la partie malade. Après quoi il continua à cheminer auprès du capitaine, lui recommandant fréquemment de tenir sa main appliquée sur sa joue, de peur d'une récidive (3).

La *chaleur excessive* n'est pas moins à redouter que le froid extrême pour les êtres organisés et vivants, et en particulier pour les animaux.

Le moyen le plus puissant qu'ils aient pour la plupart de résister à son influence, consiste dans l'évaporation d'une partie de l'eau qui entre dans la composition de leurs humeurs.

(1) *Ouvr. cit.*, p. 84-86.
(2) *Traité de l'inflammation* (Œuvres complètes, trad. de Richelot).
(3) *Ouvr. cit.*, p. 168.

On a vu déjà (*) que, chez l'homme, l'effet réfrigérant produit par la double perspiration pulmonaire et cutanée s'élève, en vingt-quatre heures, à 860 calories, c'est-à-dire au *tiers* environ de la chaleur résultant de la double combustion opérée dans l'acte respiratoire, durant le même laps de temps.

Certains animaux sont pourvus de réservoirs particuliers dans lesquels s'accumulent des liquides destinés à l'usage dont il s'agit.

Les *grenouilles*, par exemple, offrent dans la partie inférieure de l'abdomen, au-dessous des viscères, une poche ordinairement bilobée, indépendante de la vessie urinaire, avec laquelle on l'a confondue à tort, et qui contient une humeur aussi pure que l'eau distillée. Cette humeur est le résultat de l'absorption de l'eau extérieure, absorption qui s'effectue rapidement par les différents points de la peau, et notamment par la partie inférieure du ventre. Elle fournit aux besoins de la transpiration, laquelle est d'autant plus rapide, que la nécessité de combattre la température extérieure est plus pressante (1).

Une petite grenouille fut renfermée pendant cinquante-cinq minutes dans une étuve dont la température oscilla entre 56° et 60° ; après s'être beaucoup agitée, elle devint presque immobile, son corps se raccourcit, ses mouvements respiratoires se ralentirent, puis s'arrêtèrent tout à fait : l'animal était en état de mort apparente quand on le retira de l'étuve pour le remettre dans l'eau, où il se rétablit complétement en deux heures. Pendant son séjour dans l'étuve, cette grenouille avait perdu plus de 27 *pour cent* de son poids initial (2). — Dans une autre expérience, la température de l'étuve ne fut pas inférieure à 56°,25 et s'éleva jusqu'à 65°. Une grenouille y séjourna pendant deux heures, et n'en parut pas fort affectée. Un thermomètre plongé dans l'œsophage, au moment de sa sortie, indiqua 73°,75 (3). Quatre autres animaux, un *chat*, un *lapin*, un *pigeon* et un *bruant*, furent introduits en même temps que la grenouille, mais ils succombèrent. Le bruant mourut après vingt-quatre minutes, le pigeon après quatre-vingts. — Or, on sait que chez les *oiseaux*, la perspiration est très peu active ; condition qui les prive d'un puissant moyen de réfrigération. — Le chat et le lapin résistèrent pendant quatre heures ; mais, dès la première demi-heure, une sueur abondante trempait leur poil.

Dans cette expérience, la résistance à l'excessive chaleur a été en quelque sorte proportionnelle à l'évaporation dont la peau du reptile et des deux mammifères était le siége. Pour les deux oiseaux, cette résistance a été en raison inverse de leur volume respectif.

La grenouille de la première expérience pesait $3^{gr},50$ à son entrée dans l'étuve et $2^{gr},55$ à sa sortie ; elle avait donc perdu $0^{gr},95$ pendant son séjour, qui avait duré environ une heure. Si nous admettons, ce qui est assez vraisemblable, qu'à ce moment sa température s'éloignait peu de celle que l'on a trouvée chez la grenouille de la seconde expérience, c'est-à-dire de 33°,75, nous trouvons, en faisant le calcul, que pour passer à l'état de vapeur, l'eau perdue par l'animal a exigé $0^{calor},535$, c'est-à-dire une quantité de chaleur un peu supérieure à celle qui serait capable de porter à 200° $2^{gr},705$ d'eau, poids notablement supé-

(*) Page 1091.

(1) DUMÉRIL et BIBRON, *Erpétologie générale*, t. I, p. 194.

(2) DELAROCHE, *Expériences sur les effets qu'une forte chaleur produit dans l'économie animale*, thèse de Paris, 1806, p. 19.

(3) DELAROCHE, *mém. cit.*, p. 17.

rieur à celui de l'animal (2gr,55) au moment où on l'a extrait de l'appareil (*).

Un *ânon* fut le sujet d'une autre expérience, dont voici les résultats (1). L'animal pesait à son entrée dans l'étuve 18795 grammes, et sa chaleur propre était de 37°,41 : au moment de sa sortie, sa température avait atteint le chiffre de 43°,44 et son poids était descendu à 18156 grammes ; il avait donc gagné 6°,03 de chaleur propre et perdu 639 grammes d'eau. Or, cette quantité de liquide exige, pour être réduite en vapeur à 40°,42 (**), 368cal.,35, c'est-à-dire, ce qu'il en faudrait pour élever de 20° un poids d'eau un peu supérieur à celui de l'animal en expérience (***).

Si l'on veut comparer ces résultats avec ceux de l'expérience précédente, il convient de tenir compte de l'inégalité du poids des animaux et de celle de la durée de leur séjour dans l'étuve.

En ramenant ces deux éléments du calcul à l'*unité* (à *un kilogramme* en poids et à *une heure* d'exposition à la chaleur), on trouve que la perte proportionnelle ne s'est élevée, pour l'*ânon* qu'à 12gr,42, tandis qu'elle a atteint, chez la *grenouille*, le chiffre de 407 grammes. — Il ne fallait rien moins qu'une transpiration aussi abondante et une évaporation aussi rapide pour soustraire ce dernier animal à l'influence promptement mortelle de la température élevée qui l'environnait.

Chez les animaux de même ordre, le volume exerce une influence notable sur le degré de résistance qu'ils opposent aux effets de la chaleur.

Cette proposition résulte des expériences de Delaroche et Berger (2); mais elle ressort avec plus d'évidence encore de celles de Letellier (3) qui, ayant été exécutées dans des conditions peu éloignées de l'état physiologique, n'ont pas, comme les premières, déterminé dans l'économie des animaux de violentes perturbations. L'auteur s'est renfermé dans des limites comprises entre 30° et 40°, températures extrêmes de l'atmosphère pour les animaux en expérience. La respiration continuant à s'effectuer d'une manière douce et égale, entre 28° et 33°, il a été possible de mesurer avec précision l'influence de ces températures sur les proportions d'acide carbonique exhalé dans l'acte respiratoire et d'eau perdue par la transpiration pulmonaire et cutanée; en même temps, on a pu tenir compte des variations survenues dans la chaleur propre des animaux.

Cette infériorité de résistance à l'action de la chaleur extrême, qui caractérise les petites espèces, dépend de ce que, comparativement aux espèces plus grosses, elles offrent à l'air qui les environne une surface relativement beaucoup plus considérable, d'où résulte pour elles une pénétration plus rapide de la chaleur ambiante jusqu'aux parties le plus profondément situées. — Les actes vitaux destinés

(*) Voici les éléments de ce calcul : $536,21 + 33,75 \times 0,05 = 0^{cal.},541$. Or, $0^{cal.},541$ peuvent élever 541 grammes d'eau de 1°, ou, ce qui revient au même, en faire monter 5gr.,41 à 100°, ou enfin 2gr.,705 à 200°, toutes ces valeurs étant proportionnelles entre elles.

(1) DELAROCHE, *thèse cit.*, p. 25.

(**) Ce chiffre forme la moyenne entre 37°,41 et 43°,44 qui représentent la température de l'animal à son entrée dans l'étuve et à sa sortie.

(***) Le calcul porte sur le poids de l'animal réduit des 639 grammes perdus par évaporation.

(2) *Thèse cit.*, p. 27.

(3) LETELLIER, *Influence des températures extrêmes de l'atmosphère sur la production de l'acide carbonique dans la respiration des animaux à sang chaud* (*Ann. de chimie et de physique*, 3e série, t. XIII, p. 478).

à neutraliser cette influence destructive de la température, doivent donc acquérir plus d'énergie à mesure que cette température s'élève. — Ainsi, un *verdier*, qui en général perd, par heure, de 0gr,150 à 0gr,300 d'eau, par les poumons et la peau, en perd jusqu'à 1 gramme à la température de 40°. — Chez une *tourterelle*, à cette même température, la perte dépasse à peine ce dernier chiffre (1).

Dans les expériences que nous avons déjà citées (*), la première grenouille était de petite espèce : elle subit l'action de la chaleur, jusqu'à la dernière limite; en moins d'une heure, elle était arrivée à un état de mort apparente ; les mouvements respiratoires avaient cessé et le corps se racornissait. — L'autre grenouille, qui était fort grosse, resta exposée pendant près de deux heures (1 h. 55 min.) à une température longtemps supérieure à 56° et qui finit par en atteindre 65. L'animal en parut peu affecté : il fit d'abord quelques mouvements, puis garda une immobilité complète. Sa respiration devint plus profonde, mais ne s'accéléra pas beaucoup.

L'organisation n'est pas moins efficace que le volume pour hâter ou retarder les effets de la chaleur. Dans les expériences de Delaroche (2), les oiseaux et les petits mammifères se sont montrés de beaucoup inférieurs aux grenouilles, sous le rapport de l'aptitude à supporter l'action d'une température élevée ; et, parmi les invertébrés, les sangsues et les bulimes ont résisté plus longtemps que les courtilières et les punaises de bois. — Enfin, le même animal, sous ses différents états, n'a pas toujours été impressionné d'une façon identique par un même nombre de degrés: ainsi les scarabées nasicornes, à l'état parfait, ont succombé plus promptement que leurs larves (3). Les œufs du ver à soie, du papillon de l'orme et de la mouche ont supporté des températures auxquelles leurs larves n'ont pas résisté. Il en a été de même des œufs de grenouille par rapport aux têtards qui en étaient provenus (4).

L'*homme*, exposé par sa nature cosmopolite aussi bien que par les exigences professionnelles à subir l'action des températures extrêmes, trouve dans son organisation les éléments de résistance à leur influence pernicieuse.

L'intervalle qui sépare ces températures peut s'élever à 104 degrés, en ne parlant que de celles qui se produisent naturellement et que les observateurs ont mesurées avec exactitude (**).

Mais si l'on tient compte des chaleurs artificielles, cet intervalle se trouve considérablement élargi, et mesure près de 170 degrés, comme le prouve le fait suivant :

La plus haute température à laquelle un homme *entièrement nu* se soit exposé, pour en étudier les effets, est celle de 109°,4. Berger (5), qui était le sujet de

(1) LETELLIER, *Mém. cit.*, p. 485.

(*) Voir page 1120.

(2) *Ouvr. cit.*, p. 27.

(3) DELAROCHE, *ouvr. cit.*, p. 27.

(4) SPALLANZANI, *Opusc. de phys.*, *etc.*, t. I, p. 55 et suiv.

(**) Le capitaine BACK, traversant l'Amérique du Nord pour rejoindre le capitaine Ross, a vu le thermomètre descendre à — 56°,7. D'un autre côté, BURCKARDT, à Esné, dans la haute Égypte, a noté + 47°,4 pendant un *chamsin* : ces deux indications thermométriques sont à 104°,1 l'une de l'autre.

(5) DELAROCHE, *ouvr. cit.*, *p. 29.*

l'expérience, subit l'influence de cette température pendant sept minutes, et perdit 220 grammes d'eau par la perspiration pulmonaire et cutanée. Si l'on suppose que sa chaleur propre s'est élevée à 40° pendant ce court intervalle de temps, ces 220 grammes d'eau réduits en vapeur représentent un chiffre de $126^{cal},720$, c'est-à-dire la *septième* partie environ des pertes en eau et en calories que l'homme adulte, placé dans les circonstances ordinaires, éprouve durant l'espace de vingt-quatre heures. — Les symptômes éprouvés se bornèrent à une sensation assez vive de brûlure autour des mamelons, aux narines et même dans tout le visage, et, à la fin, survinrent de la faiblesse et du malaise. Trois quarts d'heure après sa sortie, Berger se trouvait dans son état naturel.

Les effets ressentis par le même observateur dans une étuve remplie de vapeurs aqueuses, dont la présence mettait obstacle à la vaporisation du produit de la double perspiration, font bien ressortir l'influence rafraîchissante de cette vaporisation, quand elle peut s'effectuer en toute liberté.

Berger (1) resta $12^{min.},5$ dans cette étuve : quand il y entra, la température était de 41°,25 ; après huit minutes et demie, elle avait atteint 53°,75, et, à la fin de l'expérience, elle était redescendue à 52°,50. — L'expérimentateur eut à souffrir de la sensation de brûlure dans diverses parties du corps et surtout dans les membres inférieurs ; au bout de dix minutes, il éprouva un léger malaise, qui augmenta rapidement et l'obligea de sortir : il s'y joignit de la faiblesse et du tournoiement de tête. Deux heures passées au lit ne purent le rétablir, et il resta souffrant tout le reste de la journée. — Et cependant il avait perdu 310 grammes de son poids pendant son séjour dans l'étuve ; mais cette perte n'avait produit aucun effet réfrigérant parce que l'eau s'échappait sous forme liquide : l'excitation dont la peau était le siége, et qui en avait augmenté l'activité sécrétoire, se prolongea au point que, dans les deux heures huit minutes qui suivirent sa sortie, il perdit encore 1490 grammes d'eau, déduction faite de 110 grammes qu'il avait bus.

Les *vêtements* ne sont pas moins utiles contre l'extrême chaleur que contre le froid excessif.

C'est à la faveur des habits qui les protégeaient contre le rayonnement trop énergique des parois échauffées du four de la Rochefoucault, que les jeunes filles observées par Duhamel, Tillet et Marantin (2), pouvaient supporter des températures de 120°, 140°, 150° et même 160°. — Une d'elles prit avec soi des pommes et de la viande, pour les faire cuire à ses côtés : il est vrai de dire que l'on tenait ouverte la bouche du four, et que le séjour de la jeune fille était limité à quelques minutes ; quand elle était sortie, on fermait le four pour amener les aliments à parfaite coction (*).

Les observations de Blagden (3) sont plus rigoureuses. L'appareil dans lequel il opérait de concert avec Fordyce, Phipps, Banks et Solander, se composait princi-

(1) *Ouvr. cit.*, p. 40.

(2) TILLET, *Mémoire sur les degrés extraordinaires de chaleur auxquels les hommes et les animaux sont capables de résister* (*Mémoires de l'Académie royale des sciences de Paris pour* 1764, p. 186).

(*) On a vu souvent des baladins répéter, devant la foule ébahie, cette expérience qu'ils parvenaient à prolonger en prenant les précautions employées par BLAGDEN, et dont nous parlerons plus loin.

(3) *Experiments and Observations in a Heated Room*, by Ch BLAGDEN (*Philos. Transact.*, 1775, p. 111.

palement d'une chambre de 4^{m},27 de longueur sur 3^{m},66 de largeur et 3^{m},35 de hauteur. — Les dimensions de cet appareil sont importantes à noter : elles permettaient aux expérimentateurs d'y marcher librement, circonstance qui a dû contribuer à leur rendre tolérable une chaleur supérieure à celle que Delaroche et Berger pouvaient supporter (*).

Ainsi, Blagden (1) étant entré tout nu dans l'appareil, avec la seule précaution d'interposer un morceau de toile entre lui et le poêle, afin de se soustraire à une intolérable sensation de brûlure, éprouva d'abord une impression beaucoup plus désagréable que celle qu'il avait ressentie quand il avait expérimenté étant habillé. — La température dépassait alors le terme de l'ébullition. — Mais en cinq ou six minutes, une sueur abondante lui apporta un grand soulagement, et mit fin à ce malaise extraordinaire : au bout de douze minutes, il sortit, n'éprouvant rien autre chose qu'une grande fatigue sans aucune oppression. Le thermomètre marquait en ce moment 104°,44.

D'autres personnes firent la même expérience avec des résultats identiques, mais à une chaleur de 126°,67.

Notons, d'ailleurs, que l'appareil avait été chauffé longtemps à l'avance et le feu entretenu, en sorte que la radiation calorifique des parois était aussi active que possible ; aussi n'y avait-il aucun abaissement de température par suite de l'arrivée et de la présence des expérimentateurs, ainsi que cela s'était produit dans une autre série d'expériences où l'on n'avait pas pris la même précaution.

Il est fâcheux que l'on ait négligé de déterminer le poids des personnes qui ont pris part à ces expériences remarquables, avant leur entrée dans l'appareil et après leur sortie.

Cette circonstance, que Blagden regrette pour le fait qui lui est propre, rend incomplets les résultats observés, et assure la prééminence aux recherches de Delaroche et Berger.

Tillet (2) a fait plusieurs expériences qui prouvent combien les vêtements sont efficaces pour protéger le corps contre les effets d'une chaleur excessive. — Un bruant, qui n'avait subi que pendant quatre minutes l'action d'une température de 76°,43, n'en périt pas moins de suffocation et de convulsions, six minutes après avoir été retiré du four et mis à l'air libre. Par opposition, un autre oiseau de même espèce, exposé à une température de 78°,75 après avoir été enveloppé d'un linge double à plusieurs tours, qui laissait libres la tête et les pattes, y resta huit minutes, et, quand on retira le maillot, on trouva les plumes sèches et médiocrement chaudes : quelques moments après avoir bu un peu de vin, l'oiseau voltigeait dans sa cage. — La même expérience réussit avec des poulets. — Enfin, un lapin enveloppé dans une serge et une serviette, non compris la tête et les pattes, séjourna pendant trente-deux minutes dans le même four, dont la température s'élevait à 76°,43, et marquait encore 67° à la fin de l'expérience. Pendant vingt-deux minutes l'animal resta tranquille : il s'écoulait une humeur abondante

(*) L'étuve ou cabinet dont ces derniers observateurs se sont servis, ne mesurait que 2^{m},3 en longueur, 1^{m},7 en largeur, et 2^{m},2 en hauteur : dans le centre, se trouvait un poêle cylindrique, de fonte, dont les tuyaux, perçant la cloison, portaient au dehors les produits de la combustion. — Il est évident qu'avec des dimensions aussi limitées, la chaleur rayonnante du poêle et des parois devait influer puissamment sur les résultats, en ajoutant son action à celle de la masse d'air échauffé.

(1) *Mém. cit.*, p. 486.

(2) *Mém. cit.*, p. 196

de sa bouche et de ses narines ; sa respiration était bruyante et pénible. Lorsqu'on le retira, il ne semblait nullement abattu, et, après le démaillottement, il avait le poil sec et son corps n'était pas extraordinairement chaud ; cinq à six minutes après sa sortie, il était dans son état naturel (1).

Nous empruntons à Blagden (2) les détails d'une expérience du même genre faite sur une chienne de forte taille : on roula autour de l'animal une couverture, de façon à protéger ses pattes contre la chaleur, et l'on mit une feuille de papier au-devant de sa tête et de sa poitrine, afin de soustraire ces parties à la radiation directe du poêle, qui chauffait la chambre à expériences. — La température était alors de 104°,44. — Au bout de dix minutes, la bête était haletante et tirait la langue comme elle l'eût fait après une course par un temps chaud ; mais elle était si peu affectée, qu'elle témoignait du plaisir quand on s'approchait d'elle. — Au bout d'une demi-heure, le thermomètre était monté à 113°,33 ; on écarta la couverture, et l'on en trouva le fond mouillé par le produit de la perspiration. — La température, prise entre la cuisse et le flanc, était à 43°,33 ; mais ce chiffre devait être trop élevé, par suite de l'impossibilité de maintenir en place la boule de l'instrument pendant un temps assez prolongé, et de plus, de soustraire cette même boule au contact des poils, qui étaient plus chauds que la peau nue. — Plus tard, quand l'animal fut reposé et dans son état normal, le thermomètre, placé dans le même point, marqua 38°,33. — On mit fin à l'expérience au bout de trente-deux minutes, la chienne était en parfait état de santé et s'y maintint.

Blagden (3) constata sur lui-même l'influence protectrice des vêtements : pendant qu'il se trouvait exposé à une température de 73°,33, dans la chambre dont nous avons déjà parlé, il introduisit un thermomètre entre ses habits, mais sans le porter au contact de la peau, et le vit descendre à 43°,33.

Dans une autre expérience, avant de pénétrer dans l'appareil, dont les thermomètres marquaient l'un 118° et l'autre 129°, il prit la précaution de mettre pardessus ses chaussures et ses vêtements une paire de bas épais montant jusqu'aux genoux ; il mit des gants pour protéger ses mains, et, à l'aide d'une toile tenue à distance, il garantit son visage de la radiation du poêle alors rouge de chaleur. — Ainsi vêtu, cet expérimentateur marcha pendant huit minutes en divers points de la salle, n'éprouvant aucune sensation pénible, et ayant au contraire la conscience qu'il lui serait possible de supporter une température encore plus élevée. Cependant, à la fin de l'expérience, il se sentit oppressé et se décida à sortir. — Après avoir ôté une partie de ses vêtements, il rentra et ressentit d'abord une chaleur très désagréable ; mais une sueur abondante se déclara et lui apporta du soulagement. — Après douze minutes, Blagden quitta la chambre sans avoir éprouvé d'oppression comme précédemment. — Le thermomètre accusait alors 104°,44 (4).

Enfin, il est une circonstance que nous ne devons pas omettre et qui se trouve consignée dans le travail de Blagden : alors que les expérimentateurs se trouvaient exposés à une température voisine de 100°, température qui, en sept minutes, s'abaissa à 92°,22, l'haleine dirigée sur la boule du thermomètre le faisait descendre de plusieurs degrés, en même temps qu'elle produisait sur les doigts une impression très agréable de fraîcheur. Une expiration un peu forte,

(1) *Mém. cit.*, p. 200.
(2) *Ibid.*, p. 484.
(3) *Ibid.*, p. 121.
(4) *Ibid.*, p. 485.

exécutée la bouche close, déterminait le même effet sur les narines, qui étaient, au contraire, comme brûlées par l'inspiration de l'air chaud. — La température de la peau était de 36°,67 (1).

Cette infériorité du chiffre de la chaleur propre des animaux supérieurs et même de l'homme, comparée à celle du milieu ambiant, a été signalée par plusieurs observateurs. — John Lining (2) raconte que, pendant son séjour à Charles-Town dans la Caroline du Sud, au mois de juin 1738, la température, à l'ombre, étant de 36°,67, il s'appliqua successivement un thermomètre dans la bouche et sous l'aisselle, et trouva pour celle-ci 36°,11, et pour la première, 36°,67.

A Savannah en Géorgie, en 1758, Henry Ellis (3) nota 38°,89 dans une chambre située au nord. Il sortit, un parasol à la main pour se garantir du soleil; le thermomètre qu'il tenait, s'éleva à 40°,56; appliqué sur sa peau, le même instrument descendit, à sa grande surprise, à 36°,11.

Cependant, lorsque la température à laquelle l'homme et les animaux sont exposés est supérieure à celle qui leur est propre, cette dernière s'élève d'une manière bien marquée, tout en restant inférieure à celle du milieu lui-même. — Ce réchauffement pour Delaroche et Berger s'est élevé de 2 à 5 degrés, suivant les différentes circonstances de l'expérience (4). — Chez les animaux qu'ils observaient (5), l'élévation a été jusqu'à 6° ou 7°; et, quand la chaleur extérieure était très considérable, cet accroissement de température n'avait d'autres limites que la mort, qui en était la conséquence nécessaire (*).

Il reste donc bien établi, d'après les faits qui précèdent, que, d'une part, la température des mammifères et des oiseaux peut s'écarter notablement du chiffre de l'état normal, sous l'influence de la chaleur ambiante, et, de l'autre, qu'elle est loin d'être toujours supérieure à celle de ce milieu.

Dans les pays chauds, particulièrement dans les régions tropicales, où le thermomètre, placé à l'ombre, atteint fréquemment le chiffre de 44°, on fait usage de *vêtements* de laine ou de coton, dont l'ampleur favorise le renouvellement de l'air autour du corps, et dont le tissu n'abandonne pas trop rapidement l'humidité qui d'habitude l'imprègne, par suite de l'activité de la sécrétion cutanée. « Quand on arrive dans les pays tropicaux, dit Johnson (6), il faut dire adieu au luxe de la toile, si le nom d'objet de luxe peut s'appliquer à une chose désagréable et nuisible..... Le coton absorbe la sueur avec facilité, la retient avec force, tandis que le linge de toile, lorsqu'il est humide, occasionnerait un frisson pénible, si l'on se trouvait exposé à un courant d'air, et déterminerait de fâcheuses conséquences. »

(1) *Mém. cit.*, p. 118.

(2) *A Letter concerning the Weather in South Carolina* (*Philos. Transact.*, 1748, p. 336).

(3) *An Account of the Heat of the Weather in Georgia* (*Philos. Transact. for* 1758, p. 755).

(4) *Mém. cit.*, p. 43 et 44.

(5) DELAROCHE, *Mémoire sur la cause du refroidissement qu'on observe chez les animaux exposés à une forte chaleur* (*Journal de physique, etc.*, par de Lamétherie, t. LXXI, p. 291 et suiv.).

(*) C'est à la même cause qu'il faut rapporter les exemples trop nombreux de mort subite parmi les hommes qui travaillent dans la campagne, pendant les chaleurs de l'été.

(6) JOHNSON, *The Influence of Tropical Climates*, etc., p. 521 et suiv.

Le choix des tissus dont nous parlons offre encore un autre avantage qui justifie la préférence qu'on leur accorde : ils sont moins perméables que les autres à la chaleur. « On plaça, à Madras, pendant la journée, dans une chambre où le thermomètre marquait 32°, deux lits; sur l'un d'eux on étendit deux couvertures de laine, et sur l'autre, une paire de draps de toile. Le soir, quand on découvrit ces lits, le premier était frais et agréable ; la chaleur du second était intolérable (1). »

Ces faits justifient le proverbe espagnol : « *Ce qui préserve du froid préserve aussi du chaud.* »

Les *abris* doivent également figurer dans l'énumération des moyens employés par l'homme et par les animaux pour se soustraire à l'action des températures trop élevées.

Pendant l'ardeur du jour, dans les saisons et dans les contrées chaudes, alors que le sol est brûlant et l'air embrasé, tous les animaux se réfugient dans leurs retraites, et s'y tiennent immobiles. L'homme seul, poussé par les exigences de sa position, mais souvent aussi par des sentiments plus ou moins impérieux et louables, ose engager contre l'élément destructeur une lutte dont sa merveilleuse organisation lui permet le plus souvent de sortir vainqueur.

Mais, parmi les auxiliaires qu'il appelle alors à son aide, il n'en est pas de plus efficace que l'usage de *boissons* appropriées, qui favorisent la transpiration et même l'excitent, lorsque les conditions atmosphériques en suspendent la facile production, comme cela arrive par exemple sous l'influence de certains vents qui donnent lieu à une chaleur âcre, mordicante, avec sécheresse intolérable de la peau (2).

En dehors des circonstances que nous venons de passer en revue, il en est un certain nombre qui sont exceptionnelles, et dans lesquelles l'homme brave des températures capables de désorganiser les parties soumises à leur influence, non-seulement sans qu'il en éprouve d'effet fâcheux, mais même sans qu'il ait la conscience de l'excessive chaleur à laquelle il ne craint pas de s'exposer. — Nous voulons parler de ces expériences, qui rappellent les anciennes épreuves judiciaires ou *ordalies*, en usage chez tous les peuples et dans tous les temps, ou qui se rapportent aux pratiques des sectateurs de la religion de *Zoroastre*, ou adorateurs du feu.

C'est aujourd'hui un fait vulgaire que de couper avec la main un jet de fonte liquide, de plonger cet organe dans des moules ou dans des creusets remplis de ce même métal fondu et dont le rayonnement est insupportable à quelque distance. — On peut aussi passer la langue sur du fer incandescent, manier ce fer, courir nu-pieds sur une *gueuse* aussitôt après la coulée, etc.

L'immunité dont jouissent alors les organes ne s'explique plus par l'effet réfrigérant dû à la vaporisation de l'humeur sécrétée par la peau : cet effet ne serait ni assez prompt ni assez énergique pour enrayer un seul instant la désorganisation des tissus. Mais elle trouve son explication dans l'état particulier que prennent les liquides vaporisables en présence d'une surface fortement échauffée.

(1) JOHNSON, *loc. cit.*

(2) THÉVENOT, *Traité des maladies des Européens dans les pays chauds et particulièrement au Sénégal*, 1840, p. 61 et suiv.

Cet état, que Boutigny (1) a désigné sous le nom d'*état sphéroïdal*, et dont l'étude l'a conduit aux résultats les plus imprévus, consiste en ce qu'un liquide (de l'eau par exemple), projeté sur une surface incandescente, au lieu de se réduire rapidement en vapeur, se réunit en une ou plusieurs petites sphères qui se tiennent à distance de la surface précitée, réfléchissent le calorique rayonnant, et ne s'échauffent pas assez pour entrer en ébullition.

Lors donc que l'on passe vivement la main dans un métal en fusion, l'humidité qui la recouvre prend aussitôt l'état sphéroïdal, et, pendant ce rapide passage, le métal n'arrive pas au contact de la peau.

Bien plus, si l'on mouille préalablement la main avec une solution saturée d'*acide sulfureux* contenant un peu de *chlorhydrate d'ammoniaque*, on éprouve une sensation de froid au moment où on la plonge dans le bain de métal fondu.

Il est presque superflu d'ajouter qu'il faut se garder de prolonger un contact qui ne tarderait pas à devenir funeste, par suite de la vaporisation de l'enveloppe protectrice.

Les transitions de température donnent lieu à des effets qui varient suivant que la température nouvelle est supérieure ou inférieure à celle qui précédait, suivant aussi que le passage est brusque ou progressif, durable ou momentané, que les différences thermométriques sont faibles ou considérables, et, enfin, suivant les conditions physiologiques où l'on se trouve au moment de la transition.

Les expériences de J. Hunter (*) ont montré que l'on peut, sans donner lieu à aucun accident, abaisser au-dessous du terme de la congélation la température de certaines parties du corps, et même en solidifier les éléments liquides; puis ramener ces mêmes organes à leur température première, pourvu que l'on ait soin de procéder, dans ces expériences, avec une extrême lenteur.

C'est cette marche qu'il convient de suivre dans le traitement de la *congélation* (**), sous peine de voir se développer les accidents les plus graves.

Dans la campagne d'Eylau, les soldats, malgré un froid intense et la présence d'une neige abondante, étaient en bon état de santé, lorsque, du 9 au 10 février, le thermomètre monta brusquement de — 19° à + 6° : aussitôt un grand nombre d'hommes furent frappés d'inflammation de la peau à divers degrés, avec douleurs violentes, phlyctènes, etc. : chez quelques-uns, la gangrène se déclara et les plus maltraités furent ceux qui se chauffèrent (2).

Si le mouvement thermométrique se fait dans le sens d'une température de plus en plus basse, et que l'action en soit prolongée, il en résulte un refoulement du sang vers les viscères où il s'accumule : le cerveau et les poumons se congestionnent ; il se manifeste une tendance presque irrésistible au sommeil, de la lenteur dans les mouvements, une sorte d'idiotisme; la parole devient difficile, la vue s'affaiblit, et la mort arrive. Toutefois la mort peut n'être qu'apparente.

Pendant l'hiver de l'an X (1802), vingt soldats autrichiens s'égarèrent dans les neiges du mont Cenis : on les trouva, au bout de vingt-six heures, engourdis et ne donnant aucun signe de vie. Placés dans des lits froids, frictionnés successi-

(1) *Études sur les corps à l'état sphéroïdal, etc.*, 3e édition. Paris, 1857.

(*) Voir ci-dessus, page 1128.

(**) Voir page 1128.

(2) LARREY, *Mémoires de chirurgie militaire*, t. III, p. 60.

vement à la neige, à l'eau froide et à l'eau tiède, ils se rétablirent promptement (1).

Quand la transition du froid au chaud est trop rapide, la mort peut arriver subitement à la suite de symptômes cérébraux qui varient suivant les sujets.

Pendant la retraite de Moscou, le pharmacien en chef Sureau arrive à Kowno, épuisé de faim et de froid ; il passe quelques heures dans une chambre chaude : ses membres engourdis se tuméfient, il expire sans prononcer une parole (2).

A la même époque, on vit des soldats tomber roide morts, comme atteints d'apoplexie, au moment où ils approchaient du feu ; d'autres, saisis d'un délire furieux, se précipitaient au milieu des flammes (3).

L'exposition plus ou moins prolongée à une chaleur excessive, même à l'air libre, peut aussi entraîner subitement la mort par asphyxie ou congestion cérébrale.

John Lining (4) cite l'exemple de deux hommes qui, en juin 1738, tombèrent morts, dans une des rues de Charles-Town, où la chaleur s'élevait de 51° à 52°, le thermomètre accusant à l'ombre 36°,67. Il vit un de ces hommes immédiatement après qu'il avait été frappé : la face, le cou, la poitrine et les mains étaient déjà livides. — De semblables accidents ne sont pas rares, même dans nos climats, parmi les ouvriers des campagnes, à l'époque de la moisson.

Les modifications physiologiques que la peau est susceptible d'éprouver, sous l'influence d'une température élevée, peuvent la rendre insensible à l'action d'une température plus basse.

C'est ce que Fordyce (5) éprouva à la suite d'une des expériences qu'il fit dans l'étuve humide de Blagden. Il y séjourna pendant cinq minutes à une température de 32°,22 ; puis, pendant une demi-minute à 43°,33 ; inondé de sueur, il retira sa chemise, seul vêtement qu'il eût conservé, et resta vingt minutes exposé à une chaleur de 48°,89 : le thermomètre, placé sous sa langue, dans ses mains, et finalement, plongé dans son urine, marquait 37°,78. — Après avoir pris un bain à 37°,78, et s'être bien essuyé et vêtu, il retourna chez lui en voiture. Au bout de deux heures, il sortit à pied, et sentit à peine le froid, qui était à ce moment au-dessous du terme de la congélation.

Les résultats de cette expérience confirment ce que l'on sait des pratiques suivies dans le nord de l'Europe, et notamment en Russie, pendant l'administration des bains de vapeur : au sortir de ces bains, on se roule dans la neige, et le contraste des températures, loin d'être suivi d'accidents, paraît avoir les résultats les plus salutaires. — En effet, la peau, vivement stimulée par le contact de la vapeur, qui non-seulement agit sur elle par sa chaleur thermométrique, mais qui, de plus, lui abandonne, en se condensant, sa chaleur latente de vaporisation, la peau se trouve bientôt portée à un état d'hérétisme considérable ; soumise alors à l'influence réfrigérante de la neige, dont l'action n'est d'ailleurs que momentanée, celle-ci n'a d'autre résultat que de calmer cette surexcitation, et d'en arrêter les progrès.

(1) DUFOUR, *Thèses de Paris*, 1806, n° 100.
(2) LARREY, *Mémoires de chirurgie militaire*, t. IV, p. 134.
(3) DESGENETTES, *Discours de rentrée à la Faculté de médecine de Paris*, 1814.
(4) *A Letter concerning the Weather in South Carolina*, p. 338 (*Philos. Transact.*, 1748).
(5) BLAGDEN, *Experiments and Observations in a Heated Room* (*Philos. Transact.*, 1775, p. 114).

Les conditions étaient tout autres dans le fait suivant qui m'a été communiqué par Boussingault. — Pendant son séjour en Amérique, il traversait un jour à cheval la plaine de Mariquita, dans la vallée de Magdalena, l'une des plus chaudes du continent. Pour se mettre à l'abri de l'ardeur du soleil, il se réfugia sous un hangar construit à l'usage des hommes chargés de la préparation du *tasajo* (*) ; comme il devait passer quelque temps sous cet abri, il y installa ses instruments et ôta son manteau. Mais il lui fallut bientôt le remettre, car il éprouvait une sensation de froid, bien que le thermomètre marquât 42°. — Il est évident que, dans cette circonstance, la peau, protégée contre la radiation solaire par des vêtements de laine suffisamment larges et épais, n'avait pas dû acquérir une température de beaucoup supérieure au chiffre normal, d'autant plus que le voyageur était à peu près immobile sur son cheval. En retirant son manteau que le soleil avait fortement chauffé, il a dû être d'autant plus sensible à la différence de température qui en est résultée pour lui, que le chiffre atteint par le thermomètre placé à l'ombre donne le droit de supposer qu'en plein air, la chaleur devait approcher de 60°. C'est donc ici principalement, sinon uniquement, un phénomène de contraste.

Mais, si le corps est échauffé par la marche en même temps que par la température extérieure, l'exposition prolongée à une chaleur moindre, surtout s'il y a des courants d'air, amène les accidents les plus fâcheux. Ces courants d'air favorisent l'évaporation de la sueur dont la surface de la peau est couverte, et, avec cette évaporation, le refroidissement qui en est la conséquence.

Nous venons d'expliquer par une action de contraste le refroidissement qui peut se manifester même en présence d'une température notablement supérieure à celle du corps. Nous pourrions recourir à la même explication, pour rendre raison de la sensation de chaleur qu'on éprouve, quand, au sortir d'une température très basse, on se trouve exposé à un froid sensiblement moindre, ainsi que cela arrive dans nos climats, à l'époque du dégel.

Mais il y a une autre explication plus physiologique applicable à ce dernier cas : nous voulons parler de la persistance d'une plus grande activité des combustions respiratoires, alors que les conditions thermométriques et météorologiques cessent d'être en harmonie avec cette activité.

« Le corps, dit le capitaine Ross (1), engendre-t-il plus de chaleur quand il fait froid, et en engendre-t-il d'autant plus que le froid est plus rigoureux ? Si cela n'est pas, comment pouvions-nous avoir aussi chaud à — 45°,55 qu'à — 12°,22 ou—6°,67, laissant de côté les accidents fortuits du vent, et son action sur le corps quand il y est exposé ?..... Il est difficile de s'imaginer ce qu'on éprouverait, s'il se produisait, au mois de juillet, un froid de — 46°,67, avec une température de + 21°,11 pendant le jour. »

Les expériences citées précédemment sur les variations qu'éprouvent en hiver et en été les combustions respiratoires, répondent aux premières questions du savant navigateur. Quant à la réflexion par laquelle il termine, elle suppose une éventualité qui s'est réalisée au moins en grande partie dans plusieurs ascensions aérostatiques, et notamment dans celle de Gay-Lussac, qui, parti au mois d'août par une température de + 30°,7, s'est trouvé en quelques minutes exposé

(*) Lanières de bœuf desséchées au soleil et conservées comme produit alimentaire.

(1) Ross, *Narrative of a Second Voyage*, etc., p. 334.

à — 9°,5, sans en éprouver aucun accident notable, qu'on pût attribuer à une transition de chaleur aussi rapide et aussi considérable.

IV. — Les *maladies* impriment à la chaleur animale des modifications dont l'étude peut jeter quelque lumière sur l'histoire physiologique de ce phénomène.

C'est donc seulement à ce dernier point de vue que nous devons nous occuper de cette étude.

Monneret (1), prenant pour base l'influence exercée par les maladies sur la chaleur propre de l'homme, les a réparties en deux classes, suivant qu'elles donnent lieu à une élévation ou à un abaissement de température. — On peut admettre une troisième classe formée par les maladies dans lesquelles la calorification ne se trouve pas modifiée.

Les auteurs n'ont signalé, jusqu'ici, que trois maladies dans lesquelles la chaleur animale s'abaisse au-dessous de son degré normal : ce sont le *choléra*, le *sclérème* et l'*algidité progressive des nouveau-nés*.

Toutefois le refroidissement peut se montrer dans d'autres états morbides, non plus comme élément essentiel, mais seulement à titre de simple accident ou d'épiphénomène.

Au contraire, l'élévation de la température propre s'observe dans une foule de maladies, parce que cette élévation est sous la dépendance du mouvement fébrile plus ou moins prononcé qu'elles sont la plupart susceptibles d'offrir à une époque quelconque de leur développement.

En effet, pour les observateurs de tous les temps, l'augmentation de chaleur constitue le symptôme caractéristique de la fièvre : « Calor adeo assiduum in » febribus symptoma invenitur, » dit Van Swieten, « ut febris naturam individuam » in calore posuerint Galenus, aliique post illum celeberrimi medici (2). »

On peut même poser en principe que l'augmentation de chaleur n'est générale que dans la fièvre, soit essentielle, soit symptomatique d'un exanthème ou d'une phlegmasie.

Dans la *fièvre typhoïde*, la température s'élève ordinairement à 39° et 40°, et, dans les formes graves de cette maladie, ce chiffre peut atteindre et même dépasser 42°.

Dans les *fièvres intermittentes*, la chaleur va toujours en croissant pendant les stades de frisson, de chaleur et de sueur : c'est ainsi que partant du chiffre normal 36°,50 à 37°,50, elle monte à 39°, 40°, 41° et même 42°. — Toutefois, au début de l'accès, alors que le malade est en proie à un frisson plus ou moins intense, et qu'il accuse une sensation de froid souvent très pénible, l'accroissement de chaleur, que l'on constate par l'application du thermomètre dans l'aisselle, peut coïncider avec un refroidissement notable de la surface de la peau et des extrémités des membres. — Mais, le plus ordinairement (les *fièvres algides* en sont un remarquable exemple), la sensation de froid accusée par le malade est un phénomène nerveux que l'examen thermométrique ne vient pas confirmer.

La *rougeole*, la *scarlatine*, la *variole* et l'*érysipèle* s'accompagnent d'un accroissement de température qui, au moment de l'éruption, peut atteindre 39° à 40° : néanmoins cet accroissement, qui, dans certaines limites, se montre proportionnel

(1) *Traité de pathologie générale*, t. II, p. 3 et suiv.
(2) VAN SWIETEN, *Commentarii in Boerhaavii Aphorismos*, t. II, p. 262.

à la gravité de la maladie, est rarement égal et il n'est jamais supérieur à celui qu'on observe dans la fièvre typhoïde.

Dans les *phlegmasies*, la nature de l'inflammation concourt plus puissamment que l'étendue des lésions à l'élévation de la température.

La *pneumonie* et le *rhumatisme articulaire aigu* sont, de toutes les phlegmasies, celles où la chaleur présente la plus grande élévation : le plus souvent elle s'arrête entre 39° et 40°.

Nous devons faire remarquer, que dans les maladies de cet ordre, le trouble de la caloricité précède le développement de la lésion locale, et que, dans la période de déclin, la température reprend son chiffre normal, malgré la persistance de la lésion matérielle. On est donc fondé à admettre que ces deux phénomènes, *chaleur fébrile* et *altération du solide*, sont jusqu'à un certain point indépendants l'un de l'autre.

Quand la phlegmasie aiguë est limitée à une région circonscrite ou à une membrane de petites dimensions, la température générale n'en reçoit aucune atteinte. Il n'en est pas de même de la chaleur locale qui, sans dépasser la température prise dans l'aisselle, est supérieure à celle de la partie correspondante dans le côté sain.

L'accroissement de température qu'on observe dans un grand nombre de maladies chroniques paraît avoir sa source dans l'action qu'exercent sur l'organisme, et plus particulièrement sur le système nerveux, certains produits hétérologues, tels que le pus, les matières septiques, virulentes, tuberculeuses ou cancéreuses.

On sait d'ailleurs que l'excitation directe du système nerveux, et spécialement du nerf grand sympathique, modifie puissamment la calorification des parties auxquelles ce nerf se distribue.

On ne peut guère expliquer autrement que par la perturbation des fonctions nerveuses les singulières alternatives de chaleur et de froid que J. Hunter eut occasion d'observer chez un homme qui venait d'être atteint d'apoplexie : « Tandis qu'il était couché dans son lit, privé de l'usage de ses sens, enveloppé dans ses couvertures, je remarquai, dit Hunter, que tout son corps devenait extrêmement froid en un instant ; qu'il restait dans cet état pendant quelque temps, et qu'il devenait ensuite extrêmement chaud, d'une manière aussi brusque. En même temps que ces changements alternatifs s'opéraient, son pouls ne présenta pas de variations appréciables pendant plusieurs heures (1). » — Ce fait a d'autant plus d'importance, que Hunter, s'occupant spécialement de recherches sur la *chaleur animale*, devait en être plus frappé qu'aucun autre observateur, et qu'il n'a rien négligé pour en bien constater la réalité : « Il est très probable, dit-il, que la production de la chaleur dépend d'un principe si intimement lié avec la vie, qu'il peut agir, et agit en effet indépendamment de la circulation, de la sensation et de la volition, et qu'il est la force qui conserve et règle intérieurement la machine (2). »

Enfin, J. Hunter résume ainsi son opinion sur ce point : « Dans la santé, la faculté génératrice de la chaleur s'exerce avec régularité et énergie. Dans la maladie, il n'y a plus, pour cette faculté, qu'irrégularité et incertitude. »

Ajoutons ici que c'est dans les affections où les centres nerveux semblent le plus compromis, que la chaleur animale subit les plus grandes variations : ainsi,

(1) HUNTER, *Œuvres complètes*, traduct. de RICHELOT, t. IV, p. 209.
(2) *Ouvr. cit.*, t. IV, p. 208.

dans la *méningite*, tantôt on observe une augmentation médiocre de chaleur, tantôt un chiffre des plus élevés (42°,50), tantôt, enfin, un chiffre relativement très bas (35°), comparativement à ce qui se voit dans les autres phlegmasies aiguës (1). D'un autre côté, il n'y a pas de maladie où la température s'élève aussi haut que dans les fièvres typhoïdes à forme grave, alors que les troubles nerveux sont au maximum d'intensité.

Il est même à remarquer que le chiffre de 43°,2, le plus élevé que l'on ait observé chez l'homme, a été trouvé au moment de l'agonie, lutte suprême pendant laquelle les fonctions de l'innervation sont dans le désordre le plus complet.

C'est pendant l'agonie des cholériques que Doyère (2) a constaté un réchauffement qui, pour quelques-uns, s'est élevé d'une manière progressive jusqu'à 42°; et cependant, à ce même moment, l'absorption d'oxygène et l'activité des fonctions respiratoires subissaient une dépression toujours croissante. « Comment expliquer cet étrange phénomène, dit Doyère? Où et sous quelle forme se trouve dans l'organisation en santé cette chaleur latente que nous voyons réapparaître au moment où s'éteignent l'action nerveuse et la contractilité musculaire, comme reparaît la chaleur thermométrique, lorsque les vapeurs repassent à l'état liquide, en perdant leur tension mécanique... A coup sûr, ces faits ne portent aucune atteinte à la théorie qui nous montre la source de la chaleur animale dans la combustion respiratoire; mais ils prouvent, de la manière la moins douteuse, que la combustion respiratoire et la température du corps, à un moment donné, sont liées l'une à l'autre par des rapports moins étroits et moins immédiats qu'on ne le croit généralement, et qu'entre elles il existe quelque fonction remplissant pour la chaleur l'office que le volant remplit pour la force mécanique dans les machines; l'absorbant, la rendant latente, et pouvant la restituer, à un moment donné, sous forme de température. »

Comme complément de ce que nous venons de dire au sujet de l'influence que les perturbations du système nerveux exercent sur la chaleur animale, nous rappellerons que Demarquay, A. Duméril et Lecointe (3) ont montré que les principaux médicaments de la famille des *solanées*, les *opiacés* et le *cyanure de potassium*, à doses toxiques, déterminent un abaissement de température qui va toujours en augmentant jusqu'à la mort.

Les anesthésiques (éther et chloroforme), administrés par voie d'inhalation, produisent d'abord une augmentation notable de chaleur; puis bientôt cette augmentation est remplacée par une diminution qui est persistante (4).

Les variations que la *chaleur animale* éprouve dans les maladies, et dont nous venons de donner un aperçu rapide, trouveraient peut-être une explication rationnelle dans les modifications imprimées par les mêmes maladies, soit à l'activité de la double combustion respiratoire, soit au développement d'autres actions chimiques dont l'économie deviendrait alors le siége. Sans doute aussi l'innervation des vaisseaux joue un des principaux rôles.

Mais la science ne possède encore qu'un nombre trop limité de travaux exécutés

(1) ROGER, *Archiv. génér. de médecine*, 4e série, 1845, t. IX, p. 276.

(2) DOYÈRE, *Mémoire sur la respiration et la chaleur humaine dans le choléra* (*Moniteur des hôpitaux*, 1854, p. 110).

(3) *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences de Paris*, 1851, t. XXXII.

(4) DEMARQUAY et DUMÉRIL, *Archiv. génér. de médecine*, 4e série, t. XVI, p. 189.

dans cette voie, pour qu'il soit permis d'en tirer des conclusions générales : ceux qui ont été publiés s'accordent assez exactement avec les données physiologiques que nous avons précédemment développées, ce qui permet d'espérer que les recherches ultérieures ne feront que confirmer de plus en plus ces mêmes données.

Gregor (1) a reconnu que, dans les fièvres éruptives, *variole*, *rougeole*, *scarlatine*, la proportion de gaz *acide carbonique* expiré va en augmentant dans la première période de la maladie, et qu'elle revient progressivement à l'état normal à mesure que les accidents se dissipent et que la santé tend à se rétablir.

Paul Hervier et S. Lager (2) professent une opinion diamétralement opposée : d'après leurs recherches, il y aurait, dans ces maladies, une moindre proportion de carbone brûlé. La *fièvre typhoïde*, la *dysenterie*, la *phthisie pulmonaire*, s'accompagneraient également d'une diminution dans la quantité d'acide carbonique exhalé. Au contraire, cette quantité serait augmentée dans les *fièvres intermittentes* (stades de frisson et de chaleur), dans le *rhumatisme aigu*, et dans les phlegmasies bien caractérisées, comme la *méningite*, la *péritonite* et la *métro-ovarite*.

Plusieurs auteurs se sont occupés d'étudier chimiquement la respiration des *cholériques :* Rayer (3) et Doyère (4) ont mis en évidence l'abaissement du chiffre de l'*acide carbonique* contenu dans l'air expiré. Mais Doyère a montré, de plus, que l'asphyxie est le phénomène constant du choléra, asphyxie caractérisée par la diminution des proportions de l'acide carbonique exhalé et de l'oxygène absorbé : cette diminution porte principalement sur le premier de ces deux gaz ; en sorte que, dans le choléra, il y a une certaine quantité de l'oxygène absorbé qui disparaît.

Il serait important de suivre les traces et les transformations de cette portion d'oxygène ; de rechercher si d'autres maladies ne présenteraient pas le même phénomène ; enfin, de déterminer, par l'analyse, quels sont les changements qui, sous l'influence morbide, surviennent dans la composition des divers produits excrémentitiels. La solution de ces problèmes importants donnerait à la théorie de Lavoisier, sur la chaleur animale, une solidité et une suite qui lui manquent encore sur quelques points de détail.

V. — A peu près arrivé au terme de l'étude que nous avons entreprise sur la *chaleur propre* des êtres vivants, nous croyons devoir en résumer les traits principaux dans les propositions suivantes :

1° La chaleur animale est entièrement due aux actions chimiques dont l'économie est le siége.

2° Ces actions chimiques sont complexes, et ne peuvent pas être déduites intégralement du chiffre de l'*oxygène* absorbé dans l'acte respiratoire.

3° L'*acide carbonique* et l'*eau* qui résultent des combustions interstitielles, et qui se retrouvent dans l'air expiré, ne représentent qu'une partie de la chaleur produite.

4° Il se forme, dans l'économie, un certain nombre de substances très oxydées

(1) *Annales de chimie et de physique*, 3e série, 1841, t. II, p. 528.

(2) *Journal des connaissances médicales*, 1848-1849, t. XVI, p. 258.

(3) RAYER, *Examen comparatif de l'air expiré par des hommes sains et des cholériques, sous le rapport de l'oxygène absorbé* (*Gazette médicale de Paris*, mai 1832, p. 277).

(4) *Mémoire sur la respiration et la chaleur humaine dans le choléra* (Moniteur des hôpitaux, 1854, p. 99).

(*urée*, *acides urique*, *sudorique*, etc.) qui font partie des matières excrémentitielles, et dont la formation entraîne tantôt un dégagement, tantôt une absorption de chaleur.

5° C'est en combinant les résultats de la méthode *indirecte*, instituée par Boussingault, avec ceux de la méthode *directe*, imaginée par Lavoisier, et ultérieurement employée par Dulong, Despretz, Regnault et Reiset, etc., que l'on pourra réunir les données nécessaires à l'évaluation numérique de la chaleur produite dans les différentes combustions complètes ou incomplètes qui ont lieu au sein des corps organisés et vivants (*).

6° Enfin, si la dénomination d'*animaux à sang froid* ou *à sang chaud*, admise par les anciens auteurs, est en opposition avec les faits observés, celle qui lui a été substituée d'*animaux à température constante* ou *à température variable*, n'est pas mieux fondée. *Tous les animaux ont une température variable, et cette température peut être, suivant les circonstances, supérieure ou inférieure à celle du milieu ambiant.*

Les variations que peut offrir la chaleur propre des animaux n'ont pas la même étendue dans toutes les espèces, et les écarts entre la plus haute et la plus basse température qu'ils présentent, sont subordonnés à un certain nombre de conditions que nous avons pris le soin de signaler.

En moyenne, et sans trop s'éloigner de l'état physiologique, on peut évaluer cet écart comme il suit :

45° à 50° pour les invertébrés (80° à 100° pour certains infusoires);
35° à 40° pour les reptiles et les poissons;
30° à 35° pour les mammifères et les oiseaux hibernants;
12° à 15° pour les mammifères et les oiseaux non hibernants;
6° à 8° pour l'homme.

C'est peut-être à la faculté que présente l'homme, de ne subir, sous l'influence des causes extérieures, que de faibles variations dans sa température propre, qu'est dû le privilége dont il jouit, à l'exclusion de tous les autres animaux, de pouvoir vivre dans tous les climats, à toutes les hauteurs et sous toutes les latitudes.

VI. — Pour faire l'étude complète des opinions diverses qu'on a émises sur les *causes de la production de chaleur* chez les animaux, il faudrait passer en revue tous les systèmes qui ont régné successivement dans la science ; nous ne nous livrerons pas à ce travail aussi ardu qu'inutile, et nous nous bornerons à indiquer sommairement quelques-unes des erreurs qui ont eu cours comme des vérités, nous hâtant d'arriver aux temps historiques qui commencent à Lavoisier.

Un phénomène aussi remarquable que la production de chaleur, chez les êtres animés, a dû fixer l'attention des premiers observateurs et frapper l'esprit des premiers penseurs. Aussi n'est-il pas pour ainsi dire d'ouvrage de science, si ancien qu'on le suppose, où il ne soit question de la chaleur animale et où ce phénomène ne se confonde en une même idée avec la vie.

Les philosophes de l'antiquité avaient vu, sous les feux du soleil, la vie se manifester dans toute la nature, et, sur la terre, dans les eaux, dans l'air, des myriades d'êtres s'animer sous cette influence vivifiante. On comprend facilement que l'idée

(*) *Voir ci-dessus*, page 1089.

vint de supposer que la vie n'était qu'une manifestation, circonscrite dans un individu, de cette chaleur générale qui animait toute la nature. Il n'était point nécessaire, par conséquent, de rechercher quelle était la cause de cette production de chaleur chez les êtres vivants, puisque, dans cette hypothèse, il n'y avait pas développement d'une chaleur propre à ces êtres, mais bien au contraire emploi de la chaleur primitive. La vie ne devait être considérée que comme un effet de cette chaleur et non comme sa cause ; puis, quand cette chaleur était épuisée, la vie cessait *ipso facto*, et le froid de la mort saisissait les corps inanimés, jusqu'à ce que, sous l'influence de la chaleur, de nouveaux êtres pussent se produire et la vie naître de la mort.

Ces vues, qui semblent venir des mythes de l'Inde et qui sont reproduites dans les doctrines de Pythagore, se retrouvent dans les poëtes anciens, ces vulgarisateurs de la science d'alors. Pour eux, le feu, la chaleur, le soleil, l'été, c'est la *vie ;* le froid, l'hiver, c'est la *mort ;* et, dans le cours de l'existence comme dans le cours de l'année, les premières chaleurs du printemps ou de la jeunesse indiquaient le début, les neiges de l'hiver ou de la vieillesse marquaient la fin.

Si cette manière d'interpréter les faits était erronée, elle avait au moins ce mérite d'être l'expression de phénomènes observés. Mais, lorsque les idées vitalistes eurent cours, on renversa tout simplement les termes de cette interprétation première, et la cause devint effet, l'effet devint cause. La vie produisait la chaleur, une chaleur particulière, spéciale, distincte ; une chaleur qui était autre que la chaleur ordinaire, qui n'avait pas la même origine, ne donnait pas lieu aux mêmes phénomènes, mais en causait qui ne leur ressemblaient pas : la *chaleur vitale*, en un mot.

Abandonnée et reprise souvent, l'idée de cette chaleur vitale se trouve encore exprimée et soutenue, presque de nos jours, par J. Hunter (1) : « Il est très probable, dit-il, que la production de la chaleur dépend d'*un principe si intimement lié avec la vie*, qu'il peut agir, et agit en effet indépendamment de la circulation, de la sensation et de la volition, et qu'il est la force qui conserve et règle intérieurement la machine. » Ce même principe pourrait aussi détruire une certaine quantité de chaleur, d'après J. Hunter, qui ne voulait pas admettre que l'évaporation fût suffisante pour refroidir le corps des animaux : ainsi, la même force produirait et détruirait, suivant les besoins, la *chaleur animale*. Quant à ses organes, Hunter ne les déterminait pas, mais niait que la source de la chaleur fût dans le sang ; il pensait que « ce liquide n'est affecté par la chaleur animale que parce qu'il a sa source auprès de la source de cette dernière... Il est probable, ajoute-t-il, que ce principe réside dans l'estomac : la chaleur vitale n'est pas produite par des actes physiques ou chimiques ; c'est un principe particulier, c'est une force vitale. »

Que, pendant bien des siècles, l'idée de la chaleur vitale ait été généralement admise, soit qu'on en plaçât le siége, suivant Aristote, dans le ventricule droit du cœur, soit qu'avec Galien on le mît dans le ventricule gauche, il ne faut pas s'en étonner : n'est-ce pas la même marche qu'a suivie partout la science ? On invente des forces particulières pour expliquer des phénomènes incompris, et bientôt on discute sur ces forces comme si elles existaient réellement. Si la science moderne a considérablement diminué le nombre de ces forces hypothétiques, qui oserait affirmer que l'avenir ne doit pas les diminuer encore, à la plus grande gloire de la vérité, dont la destinée paraît être de ne s'établir que sur les débris de l'erreur?

(1) *Œuvres complètes*, trad. franç. de Richelot, t. IV, p. 208.

Quand les sciences se réveillèrent de leur long sommeil, l'alchimie donna son explication de la chaleur vitale; mais nous n'en parlerons que plus loin, pour ne pas scinder le rôle qu'a joué la chimie dans l'étude de cette importante question. Auparavant, disons quelques mots des opinions émises, soit par les iatro-mécaniciens, soit par des physiciens ou par des physiologistes plus ou moins disposés à faire intervenir la *force vitale* dans l'interprétation de tous les actes de la vie.

Toutes les explications de la chaleur animale peuvent se ramener à deux principales : dans l'une, cette chaleur est inhérente à l'organisme où elle siége et où elle provoque différentes manifestations ; dans l'autre, elle s'y développe par des procédés analogues à ceux qui, en dehors de l'économie, produisent de la chaleur (actions physiques ou réactions chimiques). La première, qui eut cours seule pendant des siècles, compte, parmi ses adhérents, les noms les plus illustres, à commencer peut-être par Hippocrate ; la seconde (au moins celle qui invoque les réactions chimiques de la nutrition), quoique née d'hier, paraît avoir pris à jamais possession de l'avenir.

Un des derniers défenseurs de la chaleur vitale, Brodie (1), tend à attribuer la plus grande influence dans la production de la chaleur animale, non pas au fluide vital, mais au système nerveux, ce qui pour lui revient absolument au même, puisqu'il suppose aussi une chaleur produite en dehors des causes ordinaires. Brodie avait observé que, chez un animal décapité, la température s'abaisse très rapidement, alors même que la circulation continue et que la respiration est entretenue artificiellement par l'insufflation ; il avait de plus remarqué que, de deux animaux décapités après la ligature des vaisseaux du cou, l'un, chez lequel on entretenait la respiration artificielle, se refroidissait plus vite que l'autre qui était abandonné à lui-même. Chez les animaux insufflés, la quantité d'acide carbonique exhalé restant la même ou à peu près que dans l'état normal, Brodie concluait de ses expériences que l'influx nerveux étant supprimé, la respiration, au lieu de produire de la chaleur, est au contraire une cause de refroidissement. Cette dernière proposition avait déjà été énoncée très anciennement par ceux qui soutenaient que l'introduction de l'air dans la cavité thoracique était destinée à rafraîchir le sang, ne prenant pas garde que cet air peut être et est souvent d'une température supérieure à celle du liquide sanguin.

Cependant Brodie ne tirait de ses observations que des conclusions très réservées, et qu'il présentait seulement sous la forme d'hypothèses ; car il dit : « Les faits que j'ai observés paraissent concourir à prouver que la température des animaux à sang chaud dépend beaucoup de l'influence du système nerveux..... Mais quelle est la nature du rapport qui existe entre la cause et l'effet ? le cerveau est-il *directement ou indirectement* nécessaire à la production de la chaleur ? Ce sont là des questions auxquelles on ne peut certes répondre qu'hypothétiquement. » — Aujourd'hui la certitude à cet égard est venue supprimer l'hypothèse.

D'ailleurs les expériences de Brodie semblent n'avoir pas été faites d'une manière bien rigoureuse. En effet, Legallois a démontré que les animaux décapités et insufflés conservent une température de 1° à 3° supérieure à celle d'animaux de même espèce et de même taille décapités aussi, mais abandonnés à eux-mêmes. Il a établi, en outre, que l'insufflation, bien différente de la respiration normale, peut refroidir les animaux sur lesquels on la pratique, alors même

(1) *Bibliothèque britannique*, t. XLVIII.

que ces animaux sont intacts. Cette dernière observation a été confirmée par les expériences de Wilson Philip. Enfin, tandis que, pour Brodie, la quantité d'acide carbonique exhalée pendant la respiration artificielle était à peu près la même que celle qui s'exhale pendant la respiration normale, les expériences de Legallois ont fait reconnaître que, pendant la respiration normale, un animal intact consomme une quantité d'oxygène beaucoup plus considérable, dans un temps donné, que celle qui est consommée pendant l'insufflation par un animal décapité, la durée de l'expérience étant la même.

A côté de l'opinion de Brodie, il faut placer celle de Chossat, qui n'hésite pas à placer dans le *grand sympathique* le principe producteur de la chaleur. Pour lui, ce n'est pas indirectement que ce nerf concourt à la calorification, ce n'est point par la part qu'il prend à l'entretien des principales fonctions végétatives, à l'exécution régulière des actes physiques ou chimiques qui se passent dans l'économie, mais c'est *directement* et par lui-même qu'il produit la chaleur animale. Les expériences de Chossat, quoique faites avec tout le soin qui caractérise les travaux de cet habile observateur, sont accompagnées de telles mutilations, qu'il est de toute impossibilité d'en tirer les conséquences qu'en a déduites l'auteur; aussi est-on forcé de reconnaître qu'elles ne prouvent rien.

Il nous a paru nécessaire de mentionner les opinions de Brodie et de Chossat, bien qu'elles rentrent en réalité dans la généralité de celles qui font de la chaleur animale un effet de la force vitale complétement indépendant des réactions chimiques et des forces physiques qui produisent la chaleur en dehors des êtres vivants; cela nous a paru nécessaire, parce qu'elles ont été émises à une époque où déjà la lumière s'était faite sur la cause véritable de la calorification. C'est là une preuve nouvelle de la difficulté qu'éprouve trop souvent la vérité à se faire reconnaître même par les esprits les plus distingués.

Plus tard, en nous occupant des fonctions du système nerveux, et spécialement de celles du grand sympathique, nous aurons occasion de revenir, mais à un tout autre point de vue que celui de Brodie ou de Chossat, sur les *rapports du système nerveux avec la chaleur animale:* nous démontrerons alors, à l'aide de faits incontestables, l'*influence indirecte* ou médiate de ce système sur la production de cet important phénomène, et nous caractériserons la nature ou le mode de cette influence.

Parmi les idées, moitié physiques et moitié vitalistes, nous pouvons placer celles de De la Rive (1), qui suppose que la chaleur animale provient de l'*électricité* dont les nerfs seraient les conducteurs. Sans doute, un grand nombre de phénomènes s'accompagnent, dans l'organisme, d'un dégagement d'électricité qu'une certaine production de chaleur peut suivre; mais, si l'on considère la quantité énorme de chaleur produite sans cesse dans les animaux supérieurs, on comprend immédiatement que si les nerfs en devaient être les agents conducteurs, ils atteindraient un degré de température incompatible avec la vie.

Bichat a aussi donné sa théorie de la chaleur animale; mais elle est assurément peu digne de ce puissant génie. Il suppose que la calorification résulte du dégagement de la chaleur latente qui s'opère quand les éléments du sang, dans l'acte

(1) *Bibliothèque universelle de Genève*, t. XV, p. 46.

de la nutrition, passent de l'état liquide à l'état solide. Mais, dans l'économie, les solides qui se liquéfient sont à peu près équivalents aux liquides qui se solidifient, et, par conséquent, dans ces actes, il y a autant de calorique absorbé que dégagé. Qu'était-il donc besoin de cette hypothèse, et comment Bichat n'a-t-il pas reconnu tout ce qu'il y avait de vrai dans le système de Lavoisier? C'est que sans doute, lui aussi, était dominé par cette pensée que, dans les êtres vivants, les phénomènes physiques ou chimiques ne se passent pas comme dans les laboratoires.

En opposition avec la plupart de ces théories, dans lesquelles la *force vitale* est supposée intervenir comme cause productrice de la chaleur, nous allons actuellement mentionner d'autres opinions dans lesquelles l'acte de la calorification est réduit à un phénomène mécanique.

Quand les doctrines mathématiques entreprirent d'expliquer tous les phénomènes de la vie comme des mouvements produits par une machine, il était tout simple d'attribuer au *frottement* la cause de la chaleur animale. En frottant deux bouts de bois l'un contre l'autre, on arrive à produire du feu; dans toute machine, si soigneusement qu'elle soit construite, les roues, les engrenages, les moindres frottements donnent lieu à un dégagement de chaleur; pourquoi, disait-on, n'en serait-il pas de même dans le corps humain? Là aussi il y a des mouvements continuels, et par conséquent des frottements non-seulement des parties solides les unes contre les autres, mais aussi du fluide sanguin contre les parois des vaisseaux, des globules sanguins entre eux. J. del Papa (1) n'hésita pas: il donna le mouvement du sang comme cause première de la chaleur animale, et Martine (2) la fit provenir du frottement des globules sanguins contre les parois des vaisseaux; aussi les hommes en ont-ils plus que les femmes, parce que, leurs artères étant plus denses, le frottement y est plus considérable. Le sang noir devient rouge dans les capillaires des poumons à cause du frottement qu'il y subit, et, par conséquent, de la chaleur qui s'y produit. Hales en donne pour preuve que le sang noir devient rouge quand on l'agite fortement dans un vase de verre. Le nombre de globules, la vitesse de la circulation, la rigidité des parois, le diamètre plus ou moins fin des vaisseaux, donnaient raison des différences de température non-seulement sur un même individu dans diverses conditions de la vie, mais aussi chez tous les êtres de l'échelle animale. Les calculs les plus minutieux, mais non moins inexacts, venaient à l'appui de cette théorie assez spécieuse pour avoir séduit Haller (3) lui-même, qui s'exprime ainsi : « Hactenus certe maxime probabile videtur, utique a » *motu sanguinem incalescere*, etsi nondum constat quare magis quam aqua et » quare non super certum gradum incalescere possit. »

Et pourtant, dans cette théorie, il n'y avait absolument rien de vrai, comme l'ont démontré depuis l'expérience directe et les déductions les plus rigoureuses.

Si, dans cet aperçu historique, nous avions suivi l'ordre chronologique, nous aurions dû parler déjà de l'explication donnée par les chimiatres de la production de chaleur dans les êtres organisés ; mais nous avons préféré suivre, dans ses développements, la pensée qui attribue la calorification à des réactions chimiques.

(1) *De præcipuis humoribus*, 1736.
(2) *De sensilibus animalibus*, 1742, p. 187.
(3) *Elementa physiologiæ*, t. II, p. 307.

depuis son origine dans les erreurs de l'alchimie jusqu'à son éclosion brillante dans les travaux des chimistes modernes.

L'expérience avait prouvé que les corps, en se combinant les uns avec les autres, donnent lieu, par les réactions qui s'opèrent, à un dégagement de chaleur. Van Helmont l'attribuait, chez l'homme, au mélange effectué dans le cœur, entre le soufre et le sel volatil du sang; Sylvius (1) supposait que le feu vital, tout à fait différent du feu ordinaire, était entretenu par le mélange uniforme du sang, et qu'il atténuait les humeurs parce qu'il est composé de pyramides, suivant l'opinion de Pythagore.—C'était là un mélange de chimiatrie et d'iatromécanisme, comme on trouve un reste des idées chimiques dans cette opinion de certains médecins mécaniciens, que le globule sanguin, échauffé par le frottement, conserve la chaleur parce qu'il est très sulfureux.

Stevenson expliquait la production de chaleur par la transformation que subissent sans cesse, dans l'économie, les aliments qui y sont introduits et les humeurs qui y circulent. Hamberger, suivant les idées de fermentation alors admises généralement, pensait que le sang est le siége de la calorification à cause des combustions qui s'y opèrent comme dans les matières en putréfaction.

J. Mayow (2) établit que, dans le poumon, l'air cède au sang son esprit ou son *gaz nitro-aérien* en produisant la rutilance de ce liquide, la fermentation et la *chaleur animale.* — Quant à Joseph Black (3), il passe pour avoir le premier considéré la production d'acide carbonique, dans l'acte de la respiration, comme la source de la chaleur dégagée par les êtres vivants; opinion que combat Leslie, tout en la regardant comme très ingénieuse. Il paraît probable que cette hypothèse de Black n'était qu'une simple vue de l'esprit, et si peu certaine, que son auteur ne l'a pas jugée digne de figurer dans ses écrits : on ne la trouve émise que par ceux qui la combattent, ou par ceux qui ont jugé utile de la reprendre pour faire de Black le précurseur de Lavoisier.

Enfin, en 1777, Lavoisier, après avoir établi la *théorie de la combustion* sur des bases inébranlables, en fit à la calorification animale une application qui est restée et restera sans doute comme l'expression de la vérité. « J'ai fait voir, dit Lavoisier, que l'air pur, après être resté dans les poumons, en ressortait en partie dans l'état d'air fixe ou d'acide crayeux (acide carbonique). L'air pur, en passant par le poumon, éprouve donc une décomposition analogue à celle qui a lieu dans la combustion du charbon. Or, dans la combustion du charbon, il y a dégagement de la matière du feu, donc il doit y avoir également dégagement de la matière du feu dans le poumon dans l'intervalle de l'inspiration à l'expiration, et c'est cette matière du feu, sans doute, qui, se *distribuant avec le sang dans toute l'économie animale, y entretient une chaleur constante de* 32° *et demi* environ au thermomètre de Réaumur. Cette idée paraîtra peut-être hasardée au premier coup d'œil ; mais, avant de la rejeter ou de la condamner, je prie de considérer qu'elle est appuyée sur deux faits constants et incontestables, savoir, sur la décomposition de l'air dans le poumon, et sur le dégagement de calorique qui acccompagne toute décomposition d'air pur, c'est-à-dire tout passage de l'air pur à l'état d'air fixe (acide carbonique). Mais ce qui confirme encore que la chaleur des animaux

(1) *Dissert. med.*, X, p. 18.

(2) *Tractatus quinque physico-medici quorum primus agit de sale nitro et spiritu nitro-aero ; secundus de respiratione, etc.* Oxonii, 1674.

(3) *Lectures on the Elements of Chemistry*, etc. London, 1803, édit de J. Robison.

Spallanzani (1) a confirmé de tout point les prévisions de Lavoisier et l'hypothèse de Lagrange : il a prouvé que, chez les animaux inférieurs, l'absorption d'oxygène s'accompagne d'un dégagement de chaleur comme chez les mammifères et les oiseaux, et que l'acide carbonique s'exhale par le poumon, *mais qu'il ne s'y forme pas directement.* — Malheureusement, des résultats de ses expériences exactes Spallanzani n'a tiré que des conclusions erronées.

W. Edwards est venu ajouter de nouvelles preuves à celles que Spallanzani avait déjà données pour établir que l'acide carbonique ne se forme pas exclusivement et directement dans le poumon par la combinaison de l'oxygène de l'air et du carbone du sang veineux. Ayant démontré d'une manière péremptoire, que, dans la respiration, il se fait un échange de gaz, il préparait la démonstration donnée par Stevens, Hoffmann et Magnus, qu'il existe des gaz libres dans le sang, et que, par conséquent, *les réactions chimiques* qui produisent et entretiennent la calorification *peuvent s'effectuer dans toute l'étendue du torrent circulatoire.*

Enfin, en s'efforçant d'apporter aux opinions de Lavoisier cette démonstration que l'exactitude de la science moderne permet d'exiger, Dulong et Despretz ont été conduits par leurs expériences à admettre, avec l'immortel fondateur de la théorie chimique de la calorification, que l'oxygène absorbé dans la respiration, transformé dans l'économie en acide carbonique et en eau par sa combinaison avec le carbone et l'hydrogène du sang veineux, donnerait, pendant ces réactions, une quantité de chaleur équivalente à celle qui constitue la chaleur animale.

Il est pourtant une remarque que nous ne saurions omettre de rappeler ici : « C'est par une coïncidence fortuite, disent Regnault et Reiset (2), que les quantités de chaleur dégagées par un animal se sont trouvées, dans les expériences » de Lavoisier, de Dulong et de Despretz, à peu près égales à celles que donnerait, en brûlant, le carbone contenu dans l'acide carbonique produit, et l'hydrogène dont on détermine la quantité par une hypothèse bien gratuite, en » admettant que la portion de l'oxygène consommée qui ne se retrouve pas dans » l'acide carbonique a servi à transformer cet hydrogène en eau. » — Mais cette remarque de Regnault et Reiset, fondée sur de nombreuses expériences, ne porte aucune atteinte essentielle au principe formulé par Lavoisier : la théorie proposée par ce grand homme, loin d'être ébranlée par les découvertes modernes, en reçoit des perfectionnements de détail qui en font mieux ressortir encore la grandeur et la fécondité.

Qu'il soit donc enfin permis d'espérer qu'à l'avenir les séductions de l'erreur ne pourront plus lutter contre les preuves de la vérité.

(1) *Mém. cit. sur la respiration*, p. 256.

2. Phae

DES MOUVEMENTS.

Si les mouvements des animaux varient dans leur but et dans leur essence, les organes chargés de les accomplir offrent eux-mêmes une texture variable.

On peut, en ayant égard à cette dernière considération, admettre cinq ordres de mouvements dus : 1° à l'épithélium vibratile ; 2° au tissu cellulaire contractile ; 3° au tissu élastique ; 4° au tissu érectile ; 5° au tissu musculaire.

I. MOUVEMENTS DUS A L'ÉPITHÉLIUM VIBRATILE.

Avant Purkinje et G. Valentin (1), déjà d'autres observateurs les avaient aperçus, mais sans leur donner leur véritable interprétation, dont la science est redevable à ces deux habiles micrographes.

Les organes spéciaux de ces mouvements constituent une variété d'épithélium cylindrique, qu'on désigne sous le nom d'*épithélium vibratile*, et qui se compose de cellules coniques, cylindriques ou ovalaires, surmontées de poils courts, hyalins, terminés en pointe ou par un renflement (fig. 1). Ces poils, dits *cils vibratiles*, en général au nombre de trois à huit pour chaque cellule, cgaux ou inégaux en hauteur, sont larges et plats chez les animaux vertébrés, tronqués ou arrondis à leur extrémité libre dans l'homme et les mammifères, un peu moins obtus dans les oiseaux, pointus et aplatis dans les reptiles et les poissons, cylindriques et pointus chez les animaux sans vertèbres.

Fig. 1.

La surface du corps des planaires, des paramécies et de beaucoup d'autres infusoires, est entièrement revêtue de cils vibratiles épars ou disposés en rangées régulières. Un grand nombre d'embryons, ceux des acalèphes, par exemple, ceux des éponges, des actinies, des distomes, des mollusques, sont également tout couverts de cils vibratiles durant une certaine période. La plupart des animaux inférieurs, s'ils ne sont pas ainsi totalement ciliés, ont au moins quelques parties, quelques organes pourvus de ces appendices microscopiques : ainsi, les franges qui

(1) *De phænomeno generali et fundamentali motus vibratorii continui in membranis, etc.* Breslau, 1835. — *De motu vibratorio animalium vertebratorum*, in *Act. Acad. nat. cur.*, vol. XVII, p. 11, *avril 1835.*

accompagnent les ovaires, chez les méduses, les festons élégants qui bordent les bras, chez les pélagies, montrent bien le mouvement vibratile. L'intérieur des tentacules des alcyons et de plusieurs autres zoanthaires, l'extérieur des tentacules de tous les polypes bryozoaires, comme les alcyonelles, les flustres, etc., la membrane qui tapisse les épines et le têt des oursins et des astéries, la partie antérieure des mollusques d'eau douce, les branchies de tous les mollusques univalves ou bivalves, etc., sont munis de cils vibratiles (Dujardin). Chez les animaux vertébrés eux-mêmes, on observe le mouvement vibratile sur plusieurs parties, notamment sur la muqueuse des cavités nasales et sur les organes génitaux femelles, sur toute la muqueuse de la bouche des batraciens, sur la surface respiratoire de presque tous les vertébrés à poumons, etc.

Dans l'homme, l'épithélium vibratile tapisse d'abord les voies aériennes. Existant presque dès l'orifice antérieur des fosses nasales, il recouvre la membrane pituitaire, la muqueuse des sinus frontaux, sphénoïdaux, ethmoïdaux et maxillaires; se prolonge dans le canal nasal, dans le sac lacrymal et à la face interne des paupières; s'étend jusque dans le cul-de-sac supérieur du pharynx, dans le pourtour de la trompe d'Eustache, pour disparaître alors, faire place à de l'épithélium pavimenteux et reparaître à la base de l'épiglotte; puis il se continue sur la paroi antérieure du larynx, et, à partir des cordes vocales supérieures, tapisse toute l'étendue des canaux aériens jusqu'aux dernières ramifications bronchiques.

On le trouve également sur la muqueuse des organes génitaux de la femme, depuis le milieu du col utérin jusqu'à la face externe de la portion frangée des trompes.

Enfin, d'après Purkinje et Valentin, il existerait aussi sur les parois des ventricules du cerveau.

L'épithélium vibratile présente, du reste, quelques variétés, suivant les régions: ainsi, les cylindres dont il se compose sont plus longs dans les trompes de Fallope que partout ailleurs, tandis que les plus petites cellules d'épithélium sont celles des ventricules cérébraux. Les cellules vibratiles des paupières sont munies de cils extrêmement fins, d'où la grande difficulté qu'on éprouve à reconnaître ces derniers, même peu d'heures après la mort.

Les cils qui garnissent l'extrémité libre des cylindres sont le siége de mouvements spontanés et perceptibles seulement à un assez fort grossissement. Purkinje et Valentin ont admis trois espèces de mouvements dans ces petits organes : ils appellent *infundibuliforme* celui dans lequel la base du cil tourne autour d'un centre et décrit le sommet d'un cône dont la base est circonscrite par l'extrémité libre du cil lui-même ; en second lieu, ils parlent d'un mouvement des cils consistant en flexions ondulenses comparables aux mouvements de la queue des spermatozoaires ; enfin, une troisième espèce de mouvement se traduit, pour ces auteurs, en une sorte d'inclinaison que subit la pointe du cil et qui recourbe cette pointe en forme de crochet.

Henle (1) a comparé le mouvement vibratile, dans son ensemble, à l'ondulation d'un champ de blé ballotté par le vent, comparaison qui, en effet, rend assez bien l'aspect général que présente ce mouvement étudié au microscope.

Dans les animaux à sang froid, la grenouille, par exemple, les cils vibratiles con-

(1) *Anatomie générale*, t. I, p. 203. Trad. de Jourdan.

servent leur motilité plus de vingt-quatre heures après la mort de l'animal, pourvu qu'on maintienne celui-ci dans son milieu ordinaire, à une température de 8 à 10 degrés centigrades. Dans les mammifères et les oiseaux, les cils vibratiles cessent de se mouvoir après un temps beaucoup moins long.

On a remarqué que les ébranlements et les attouchements rendent le mouvement vibratile plus vif, et même le raniment quand déjà il avait cessé complétement. D'ailleurs, pour qu'il ait lieu, la température ne doit être ni trop basse, ni trop élevée.

Les substances narcotiques n'exercent sur lui aucune action. L'acide acétique, les acides minéraux, quelques sels métalliques, le chlorure de mercure, le nitrate d'argent, etc., l'anéantissent rapidement; il en est de même de la bile. Le sérum du sang produit un effet opposé, il prolonge la durée du mouvement vibratile.

On a supposé que ce mouvement était sous la dépendance immédiate des nerfs : mais une pareille hypothèse ne saurait être admise, car les nerfs ne vont pas jusqu'à l'épithélium vibratile, et, d'ailleurs, comme nous venons de le rappeler, les narcotiques sont ici sans la moindre action.

Quelques micrographes ayant signalé des stries à la surface des cylindres d'épithélium vibratile, on a pensé que ces stries étaient musculaires, et l'on s'est cru autorisé à admettre que le mouvement vibratile lui-même était de la nature du mouvement musculaire. Mais, d'une part, ces stries ne sont point constantes, et, de l'autre, rien encore ne démontre la réalité d'une pareille nature.

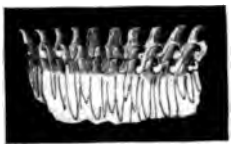
Les effets produits par le mouvement vibratile sont faciles à apprécier quand on examine au microscope une membrane muqueuse, pourvue de cils, qu'on a eu le soin d'humecter : on constate alors, dans le liquide au sein duquel les cils se meuvent, un mouvement en sens opposé à celui qu'ils prennent en se courbant.

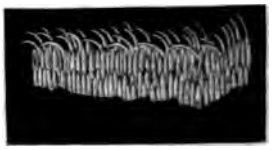
Ce qu'il y a de bien remarquable dans le mouvement dont il s'agit, c'est une certaine constance dans sa direction : d'après les recherches de Purkinje et de Valentin, le mouvement imprimé par les cils a généralement lieu de l'intérieur vers l'extérieur des membranes muqueuses. Notons, néanmoins, que la direction du courant a pu offrir parfois des alternatives telles, que tantôt celui-ci marchait dans un sens, tantôt dans un autre. On a avancé que la direction du mouvement ne correspondait pas toujours à celle que l'on pourrait présumer, en ayant simplement égard aux fonctions de l'organe, et l'on a cité les parties génitales de la femme, dans lesquelles, dit-on, il semblerait que le mouvement vibratile devrait être dirigé de dehors en dedans afin de favoriser l'introduction de la liqueur séminale ; tandis que, conformément à la loi énoncée plus haut, il a lieu de dedans en dehors, c'est-à-dire de la trompe vers l'utérus. Mais le mouvement vibratile ainsi dirigé, ne peut-il donc encore remplir quelque usage important, celui, par exemple, d'aider à la progression de l'ovule à travers la trompe utérine?

Les cils vibratiles sont évidemment destinés à faire mouvoir les liquides qui baignent les surfaces pourvues de ces petits appendices, et à faciliter ainsi certaines fonctions, la respiration, l'olfaction, la fécondation, etc. Ces espèces de rames microscopiques servent aussi à la locomotion des animaux aquatiques dont le volume est assez peu considérable pour être ainsi mis en mouvement, comme cela s'ob-

serve chez les infusoires qui, par la même action, se meuvent, respirent et excitent dans l'eau des tourbillons destinés à amener leur nourriture.

Fig. 2 (*). Fig. 3. Fig. 4.





II. MOUVEMENTS DUS AU TISSU CELLULAIRE CONTRACTILE.

Ces mouvements ont pour agent un tissu spécial que J. Müller (1) a caractérisé, en le désignant sous le nom de *tissu animal contractile susceptible de se résoudre en colle.* Il n'est qu'une variété du tissu cellulaire proprement dit, non point du tissu cellulaire tel que le comprenaient Bichat, Béclard et d'autres anatomistes, mais tel qu'il est décrit par les micrographes allemands.

Rappelons d'abord, en quelques mots, les caractères physiques propres au tissu cellulaire. Réduit à ses derniers éléments, il se compose de filaments, de fibrilles ou de cylindres longs et très déliés, mous et hyalins, de grosseur à peu près uniforme, et dont le diamètre est de 0,0003 à 0,0008 de ligne. Ces filaments, qui décrivent des ondulations souvent fort régulières, se joignent pour former des faisceaux unis entre eux par une substance que l'on considère comme amorphe. Ils sont regardés par Henle (2) comme des fibres de cellules; de leur réunion résulte ce que cet anatomiste appelle des *faisceaux primitifs.* La plupart de ces derniers sont dépourvus d'enveloppe spéciale; mais, dans beaucoup de points, ils sont entrelacés et retenus par des filaments plus fins encore que les fibres de cellules, et remarquables surtout par des replis considérables. Ils offrent encore comme caractère essentiel d'être insolubles dans l'acide acétique. Ces mêmes filaments ne sont pas toujours disposés en forme de spirale autour des faisceaux des fibres du tissu cellulaire : parfois ils marchent entre les faisceaux; d'autres fois encore on trouve à leur place des corpuscules ovales, semblables à des cytoblastes, ou bien des granulations obscures serpentiformes ou anguleuses. A tous ces caractères, Henle reconnaît des fibres de noyaux (3). Pour le micrographe allemand, il y a donc dans le tissu cellulaire deux ordres de fibres : des fibres de cellules et des fibres de noyaux.

Quelle que soit, d'ailleurs, la structure du tissu cellulaire, ce tissu se présente dans les différents points de l'organisme où il a son siége, avec des propriétés bien différentes : tantôt il n'offre pas la moindre trace de contractilité; tantôt au contraire il subit, sous l'influence de certains agents, un changement temporaire qui le fait se raccourcir. Dans le premier cas, il existe à l'état de tissu cellulaire non contractile; dans le second, à l'état de tissu cellulaire contractile. C'est de cette dernière espèce que nous devons maintenant nous occuper.

Entre les parties de l'organisme où se trouve le tissu cellulaire contractile, nous

(*) Fig. 2, *Cils vibratiles des Mammifères.* — Fig. 3, *ibid. des Reptiles.* — Fig. 4, *ibid. des Oiseaux.*

(1) *Manuel de physiologie*, t. II, p. 21. Trad. de Jourdan.

(2) *Anatomie générale*, t. I, p. 377. Trad. de Jourdan.

(3) *Ouv. cit.*, p. 380.

remarquons d'abord la peau : cette membrane présente, en effet, des fibres de tissu cellulaire dont la contraction devient bien manifeste dans le phénomène connu vulgairement sous le nom de *chair de poule*. Vient ensuite le dartos, membrane subjacente au scrotum et formée par des faisceaux longitudinaux de tissu cellulaire anastomosés entre eux : ces faisceaux forment un réseau à mailles rhomboïdales, allongées, dont le plus grand diamètre est perpendiculaire aux plis transversaux du scrotum froncé sur lui-même.

Le tissu cellulaire contractile se trouve encore dans les corps caverneux de la verge et peut-être aussi dans leur gaîne fibreuse.

En quelque endroit de l'économie qu'on le rencontre, il jouit de la propriété de se raccourcir sous l'influence de certains agents. Ce raccourcissement est bien apparent pour le dartos, car c'est lui qui détermine le froncement de la peau des bourses. Il n'est pas moins évident sur la peau des différentes parties du corps où il produit le phénomène désigné plus haut sous le nom de *chair de poule*. Il se manifeste encore dans la saillie et la dureté momentanée du mamelon, aussi bien chez l'homme que chez la femme.

Le mode de contraction du tissu cellulaire diffère complétement de celui du tissu musculaire. La contraction du premier ne s'opère que peu à peu, plus lentement encore que dans les muscles de la vie organique; elle diffère encore de celle de ces muscles en raison de sa durée, qui est plus grande. La volonté est dépourvue d'influence sur sa production; les irritations immédiates n'ont aucun effet sur son développement.

Pour que cette contraction ait lieu, il est nécessaire que les organes centraux du système nerveux soient dans un état déterminé, et c'est ainsi qu'apparaît le phénomène de la chair de poule dans la crainte ou la frayeur. L'électricité, qui agit si puissamment sur les muscles pour produire leur contraction, est sans effet sur le tissu cellulaire contractile. Une pile de soixante-cinq paires de plaques n'agit pas sur la face interne du scrotum, tandis qu'elle fait instantanément soulever le testicule par la contraction du crémaster (1).

Il en est de même des irritations mécaniques : l'excitation directe du tissu cellulaire contractile, au moyen d'instruments piquants, n'est suivie d'aucun effet appréciable; tandis que le chatouillement, l'application externe du froid, provoquent instantanément la contraction du tissu du dartos.

Il semble pourtant que le système nerveux périphérique n'est pas tout à fait sans influence sur la réaction du tissu cellulaire contractile; du moins est-il permis de le présumer d'après l'expérience suivante de Guenther (2) : Si l'on coupe les nerfs dorsaux de la verge, les corps caverneux deviennent flasques, en sorte que, chez le cheval, la verge s'imprègne d'une plus grande quantité de sang et sort du fourreau sans être capable d'entrer en érection.

III. MOUVEMENTS DUS AU TISSU ÉLASTIQUE.

La plupart des tissus de l'économie jouissent d'un certain degré d'élasticité; mais nulle part cette propriété n'est plus marquée que dans les points où existe un tissu spécial connu, en anatomie générale, sous le nom de *tissu élastique*.

(1) *Manuel de physiologie* de J. Müller, t. II, p. 25. Trad. de Jourdan.

(2) *Untersuchungen und Erfahrungen im Gebiete der Anatomie*, etc. Hanovre, 1837, p. 41.

Le tissu élastique est formé d'éléments tantôt épars au milieu d'autres tissus, tantôt réunis soit en ligaments plats, soit en membranes. Ces éléments se distinguent très bien des fibrilles de tissu cellulaire appelées *fibres de cellules*, mais ils se différencient plus difficilement des fibres de noyaux de ce même tissu.

On peut, avec Henle (1), admettre trois variétés de tissu élastique, au point de vue de la forme qu'affectent les fibres qui le constituent.

La première variété, dont le type le plus parfait nous est représenté par le tissu élastique des cordes vocales inférieures, se compose de fibres qui ne diffèrent des fibres de noyaux du tissu cellulaire, qu'en ce que ces dernières sont isolées, tandis que les premières forment des faisceaux.

Une autre variété se rencontre dans le tissu des ligaments jaunes de la colonne vertébrale : elle résulte de fibres courbées en arc ou en S, qui fournissent des branches plus ou moins longues enroulées sur elles-mêmes à leur extrémité libre.

Une troisième variété est formée par une sorte de réseau que constituent des fibres anastomosées entre elles. On trouve un exemple remarquable de cette disposition dans la tunique élastique des vaisseaux.

Comme parties de l'organisme où se trouve le tissu élastique, nous signalerons d'abord les ligaments jaunes de la colonne vertébrale; puis les ligaments ou les membranes qui unissent les cartilages du larynx, de la trachée-artère et des bronches; les cordes vocales tant supérieures qu'inférieures. Une couche de fibres élastiques entoure l'œsophage à l'extérieur et réunit sa paroi antérieure avec la paroi postérieure des organes respiratoires. On trouve encore quelques fibres élastiques à la partie inférieure du rectum.

Certaines aponévroses, comme le *fascia lata*, offrent du tissu élastique dans leur épaisseur; ce tissu se rencontre encore dans le ligament suspenseur de la verge. On l'observe dans certaines membranes séreuses : ainsi, par exemple, dans le péritoine qui tapisse la paroi antérieure du bas-ventre, dans les ligaments suspenseurs du foie, etc.

Le même tissu existe dans l'épaisseur de la peau. La tunique des artères, qui est placée immédiatement au-dessous de la tunique celluleuse, renferme des fibres élastiques dont les caractères sont ceux de la troisième variété que nous avons signalée précédemment. Les veines renferment aussi des fibres de cette nature, mais moins développées que dans les artères.

Les mouvements opérés par le tissu élastique ne sont jamais spontanés. Ils ne résultent jamais de l'application d'un stimulus, ce qui explique pourquoi ils ont lieu sur le cadavre aussi bien que sur le vivant. Le tissu élastique joue d'ailleurs un grand rôle dans certains points de l'économie : ainsi, par exemple, les ligaments jaunes de la colonne vertébrale redressent cette tige osseuse lorsqu'elle a été fléchie en avant; les cordes vocales ont la propriété d'entrer en vibration surtout parce qu'elles renferment un tissu élastique; les aponévroses s'opposent à une trop forte distension des muscles; l'élasticité des artères est une propriété des plus importantes à considérer dans la circulation artérielle, etc.

(1) *Anatomie générale*, t. I, p. 431. Trad. de Jourdan.

IV. MOUVEMENTS DUS AU TISSU ÉRECTILE.

Il existe, dans certains points du corps de l'homme et des animaux, des organes susceptibles d'acquérir un volume plus ou moins considérable par l'abord du sang qui y afflue momentanément en plus grande quantité que dans l'état ordinaire; ces organes sont formés d'un tissu connu sous le nom de *tissu érectile*.

La structure intime de ce tissu a été étudiée avec beaucoup de soin par plusieurs anatomistes. Pour s'en faire une idée exacte, il faut prendre pour type les corps caverneux de la verge.

Ceux-ci sont entourés par une membrane fibreuse, blanche, très solide, et douée d'une grande élasticité qu'elle doit à la présence d'un véritable tissu élastique dans son épaisseur. Cette enveloppe fibreuse peut être considérée comme une expansion du périoste qui revêt les branches de l'ischion; elle envoie dans l'intérieur des corps caverneux une cloison intermédiaire qui offre des ouvertures ou fentes au moyen desquelles les deux corps caverneux communiquent l'un avec l'autre. De la face interne de cette enveloppe fibreuse naissent un grand nombre de faisceaux fibreux dont les uns sont très délicats, dont les autres sont très solides, blancs, tendineux. Ces cloisons ou *trabécules* s'entrecroisent, forment ainsi un nombre infini de mailles ou cellules dans lesquelles se prolonge la membrane interne des veines, cellules qui subissent, pendant le phénomène de l'érection, une dilatation manifeste.

Un point d'anatomie de texture qui a beaucoup occupé les anatomistes est la recherche de la disposition des artères par rapport aux cellules des corps caverneux. Tous s'accordent à reconnaître que les ramifications artérielles sont munies de parois fort épaisses; tous encore avancent que ces ramifications sont de deux sortes : les unes fournissent des réseaux vasculaires destinés à la nutrition des cloisons ou des trabécules; les autres traversent ces cloisons pour aller se continuer avec les veines des corps caverneux. Mais la disposition spéciale qu'affectent les vaisseaux appartenant à cette dernière catégorie a donné lieu à des interprétations diverses. J. Müller (1) a décrit, dans les corps caverneux, des artères spéciales, *artères hélicines*, qui, ayant une ligne de longueur sur 1/5 à 1/12 de ligne d'épaisseur, partent, à angle droit, des artères caverneuses, tantôt séparément, tantôt sous la forme de bouquets de trois à six divisions et davantage. Ces artères hélicines, d'après cet anatomiste, font saillie dans la cavité du tissu caverneux, se contournent en vrille et se terminent par un cul-de-sac conique; ouvertes à leur extrémité, elles versent directement le sang dans les cellules des corps caverneux.

G. Valentin (2), qui s'est occupé de la même question, n'ayant pas pu vérifier les faits avancés par J. Müller, a été porté à admettre que les artères hélicines n'existent pas telles qu'elles ont été décrites. Il les considère comme un produit de l'art, et explique la configuration qui leur est propre par l'enroulement qu'elles subissent après avoir été déchirées. Reprenant ensuite la question sous le même point de vue, Valentin trouve que la disposition des réseaux capillaires artériels ne diffère pas, dans le tissu caverneux, de la disposition de ces mêmes réseaux dans d'autres organes. Les artères des corps caverneux sont, néanmoins, dit-il, con-

(1) MÜLLER'S *Arch.*, 1835, p. 202.
(2) *Même rec.*, 1838, *p. 182.*

tournées en tire-bouchon, et cette forme est en rapport avec les changements de volume que subissent ces organes eux-mêmes. Il signale encore un autre fait, à savoir que les artères se terminent par une extrémité dilatée en entonnoir et se continuent avec les veines, c'est-à-dire avec les mailles du tissu caverneux. Par conséquent, quel que soit le point de vue auquel on se place, que l'on adopte les idées de Müller ou celles de Valentin, toujours est-il qu'il faut reconnaître dans les artères des corps caverneux une disposition spéciale, disposition qui n'est sans doute pas étrangère au phénomène de l'érection.

On a également signalé, dans les trabécules des corps caverneux, des fibres tendineuses qui, chez certains mammifères, acquièrent un grand développement; on y a trouvé des fibres musculaires analogues, pour la structure, à celles de l'intestin, et de plus un tissu élastique.

Quant aux mailles du tissu caverneux, elles sont, comme nous l'avons déjà fait remarquer, tapissées par la membrane interne des veines, revêtue d'une couche d'épithélium pavimenteux.

Le tissu érectile est susceptible de subir une turgescence plus ou moins considérable, de laquelle résulte le phénomène connu sous le nom d'*érection*. Plus tard, seulement, nous chercherons à apprécier les opinions émises à propos de ce phénomène (1); pour le moment, contentons-nous de rappeler que le tissu érectile n'est qu'un des nombreux moyens que la nature a mis en œuvre pour faire exécuter des mouvements à certains organes ou pour leur imprimer la rigidité nécessaire à l'accomplissement d'actes déterminés.

V. MOUVEMENTS DUS AU TISSU MUSCULAIRE.

Les muscles, soumis à certaines excitations dépendantes ou non de l'organisme, sont susceptibles de se raccourcir dans la direction de leurs fibres constituantes. La fibre musculaire offre ceci de particulier, qu'elle se contracte sous l'influence de l'électricité, qu'elle ne réagit pas sous l'impression du froid, caractères qui la différencient déjà de la fibre contractile du tissu cellulaire et de la fibre granulée ou élastique de la paroi des vaisseaux. Mais, indépendamment de ces différences, il en est d'autres que révèle le microscope et qui démontrent que le muscle est formé par un tissu spécial, à caractères nettement tranchés.

Il faut aussi tenir compte des réactions différentes que présentent, d'une part, le tissu musculaire, et, de l'autre, le tissu cellulaire contractile et les fibres granulées de la paroi des vaisseaux sous l'influence de l'ébullition dans l'eau. Quoique la différence ne soit pas absolue, on peut néanmoins dire, d'une manière générale, que ces derniers tissus se réduisent en colle par l'ébullition, et que rien de semblable n'arrive au tissu musculaire.

Il existe deux espèces distinctes de fibres musculaires, les unes propres aux muscles de la vie animale, et les autres aux muscles de la vie organique, fibres qui diffèrent autant par leur texture que par plusieurs de leurs propriétés (2).

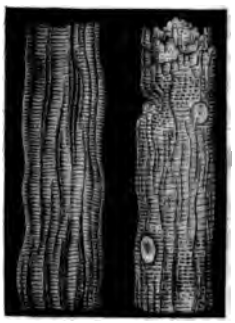
(1) T. II, 3e partie, p. 126.

(2) Les fibres qui entrent dans la composition de l'iris ont été tour à tour assimilées aux fibres *du tissu cellulaire*, et à celles des muscles de la vie organique; on les a également considérées comme *des fibres particulières*. Nous examinerons la valeur de ces diverses opinions, seulement à propos *de la physiologie* spéciale de l'iris.

Les fibres de la première espèce sont encore appelées *fibres musculaires à stries transversales*. L'œil, aidé d'instruments grossissants, reconnaît que tout muscle est composé de faisceaux parfaitement distincts, et désignés sous le nom de *faisceaux primitifs*. Ceux-ci forment, par la réunion d'un certain nombre d'entre eux, des faisceaux secondaires dont chacun est entouré d'une gaîne de tissu cellulaire ; enfin les faisceaux secondaires donnent lieu, par leur réunion, à la formation de faisceaux tertiaires, etc.

Les faisceaux primitifs ont une largeur de 0,005 à 0,006 de ligne (1). Ces dimensions sont, néanmoins, variables. En général, ils sont cylindriques ; parfois, ils sont aplatis. Les plus gros laissent apercevoir un certain nombre de stries longitudinales obscures, disposition qui a contribué à faire admettre par les micrographes modernes, Henle (2), J. Müller (3), R. Wagner (4), etc., que chaque faisceau primitif se compose lui-même de fibres dites *primitives*. Une autre particularité caractérise les muscles de la vie animale et les différencie, de prime abord, des muscles de la vie organique : les faisceaux primitifs des premiers ont leur surface couverte de stries transversales, stries constantes, mais qui offrent quelques variétés dans leur configuration (fig. 5).

Fig. 5.



Quelle est la signification de ces stries ? Fontana (5), qui les a très bien figurées, les décrit sous le nom de *taches blanches* et les regarde comme dues à ce qu'il appelle les petits signes ou diaphragmes des *fils charnus primitifs*. Fontana rapportait les stries au contenu et non au contenant du faisceau primitif, c'est-à-dire à la membrane qui entoure ce dernier. Quelques observateurs modernes ont cherché à faire prévaloir une opinion contraire à la précédente, en rattachant les stries à des plis que formerait la membrane celluleuse de chacun des faisceaux primitifs. Cette opinion a été soutenue par Prévost et Dumas (6) :

« Les fibres secondaires (faisceaux primitifs) se voient, disent-ils, comme des cylindres barrés en travers par un nombre considérable de petites lignes sinueuses placées à la distance régulière de $\frac{1}{300}$ de millimètre. Cet aspect paraît dû à la gaîne membraneuse dont ils sont revêtus, et on ne les retrouve pas dans les fibres secondaires qui ont été fendues ou déchirées. »

Une étude plus attentive des faisceaux primitifs a appris que les stries transversales sont dues aux fibres primitives des muscles et qu'elles résultent des inflexions très légères que ces fibres présentent. Sans aucun doute, la gaîne qui entoure le faisceau primitif, et qui est de nature celluleuse, offre également des plis ; mais ces derniers n'apparaissent que pendant la contraction musculaire, et c'est précisément cette circonstance qui les différencie entièrement des stries transversales, dont l'existence est constante.

(1) Henle, *Anat. génér.*, t. II, p. 122.
(2) *Ouv. cit.*, p. 124.
(3) *Physiologie*, t. II, p. 29. Trad. de Jourdan.
(4) *Addition à la physiologie de Burdach*, t. VII, p. 291. Trad. de Jourdan.
(5) *Traité du venin de la vipère*, t. II, p. 228.
(6) *Mémoire sur les phénomènes qui accompagnent la contraction des fibres musculaires*. Dans le *Journal de physiologie expérimentale*, t. III, p. 304.

Henle (1) a émis, sur les stries transversales, un sentiment qui diffère des opinions précédentes. Il suppose que les fibres primitives des faisceaux musculaires sont entourées extérieurement de larges rubans annulaires ou en forme de spirale. Cette manière d'envisager les stries transversales est conforme aux idées de Raspail (2) sur le même sujet.

Quant à la forme des fibres primitives des faisceaux musculaires, les auteurs sont loin d'être d'accord. D'après Home et Bauer (3), ces fibres sont dues aux noyaux des corpuscules du sang; suivant Prévost et Dumas (4), elles sont moniliformes et résultent du rapprochement d'une série de globules. Cette dernière opinion est également celle de Krause, Lauth, Schwann, etc. Au contraire, Valentin (5) et Krause, dans ses dernières recherches, admettent que les fibres primitives sont rectilignes et homogènes ; Wagner (6) laisse la question indécise. Enfin Bowman (7) a donné une autre interprétation : suivant lui, les faisceaux primitifs se divisent en filaments dans le sens de la longueur, et en disques dans le sens de la largeur. On peut considérer les faisceaux comme composés de particules primitives qui sont unies dans le sens transversal et dans le sens longitudinal. Ces particules représentent des filaments quand on conserve leurs unions longitudinales, et des disques lorsqu'on ne conserve que leurs unions latérales.

Au milieu d'opinions si diverses, on se demande laquelle il faut adopter. Je ferai d'abord observer que tous les micrographes qui n'ont pas aperçu distinctement les inflexions que forment, dans l'état normal, les fibres primitives, ont été trompés par des illusions d'optique. Ainsi, par exemple, la partie saillante de l'ondulation des fibres a été considérée comme formant un globule, et la partie rentrante comme le point d'union des globules : c'est là ce qui explique l'erreur dans laquelle sont tombés la plupart des auteurs qui ont considéré les fibres primitives comme formées de globules. Les recherches microscopiques les plus récentes portent à penser que les fibres primitives sont hyalines, pleines, amorphes et légèrement sinueuses, c'est-à-dire qu'elles offrent des inflexions extrêmement fines, inflexions donnant à la surface du faisceau primitif cette apparence striée qui est le cachet des muscles de la vie animale.

Le tissu musculaire à faisceaux striés forme tous les muscles qui partent du squelette ; les muscles de l'œil, ceux de l'oreille interne, de la langue, du voile du palais, du larynx, du pharynx, le peaucier, les sphincters externes et les muscles du périnée. Les faisceaux striés entrent encore dans le tiers supérieur de l'œsophage et dans la partie inférieure du rectum ; enfin, on les rencontre dans toute l'étendue du cœur et sur le commencement des gros troncs veineux.

Les fibres musculaires de la vie organique, que l'on appelle encore *fibres musculaires lisses*, se présentent sous un tout autre aspect que les fibres musculaires

(1) *Anatomie générale*, t. II, p. 127.
(2) *Nouveau système de chimie organique.*
(3) *Phil. trans.*, 1818, p. 176.
(4) *Journal de physiologie expérimentale*, t. III, p. 303.
(5) HECKER'S *Annalen*, vol. II, p. 69.
(6) BURDACH, *Physiol.*, vol. VII, p. 204.
(7) *Edinb. philos. journal*, 1841.

de la vie animale. D'abord, elles ne sont pas réunies de façon à former des faisceaux primitifs, c'est-à-dire qu'elles ne sont pas entourées d'une membrane propre qui isole un certain nombre de ces fibres pour en faire un petit groupe bien distinct du groupe voisin. Elles sont constituées par une série de lignes qui sont autant de fibres primitives, et jamais elles ne présentent ces stries transversales sur lesquelles nous avons insisté précédemment. Henle (1) les décrit et les représente comme formées de petites plaques analogues à celles qu'on obtient de la tunique à fibres annulaires des artères et de la tunique à fibres longitudinales des veines. Ces plaques offrent le plus souvent un noyau ou des traces de noyau. On rencontre encore des fragments de fibres qui sont larges, très plates et roides (2). Enfin, entre ces plaques marchent des fibres de noyaux dont l'ensemble donne lieu, suivant Henle, à un réseau qu'il compare à celui des fibres de noyaux de la tunique moyenne des artères. Ce qui permet de différencier ces dernières fibres des autres, c'est leur insolubilité dans l'acide acétique.

Les fibres musculaires lisses ou organiques se trouvent dans toute l'étendue du canal intestinal, depuis les deux tiers inférieurs de l'œsophage jusqu'à l'anus; dans les parois des conduits excréteurs qui communiquent avec le tube digestif, dans la vessie et les uretères, les canaux déférents, les vésicules séminales, l'utérus, enfin dans la trachée-artère et les bronches.

D'après ce qui précède, on voit que la présence ou l'absence de la striation transversale est le seul caractère distinctif des muscles de la vie animale et des muscles de la vie organique. Qu'on veuille bien maintenant se rappeler que les stries transversales sont, ainsi que nous l'avons déjà fait remarquer, la traduction, à l'extérieur du faisceau primitif, des ondulations des fibres primitives, ondulations qui manquent dans les fibres des muscles organiques, et dès lors on sera porté à admettre, en ayant égard à l'étendue et à la vivacité des mouvements des muscles striés, à l'obscurité et à la lenteur des mouvements dans les muscles plats, que l'aspect strié n'est que le vestige de la contraction musculaire persistant dans les éléments fibrillaires des faisceaux primitifs.

Je ne quitterai pas ce sujet sans faire mention de quelques vues ingénieuses émises par Dutrochet (3) sur le mode de formation de la fibre musculaire. Si l'on soumet du blanc d'œuf à l'action de la pile, on voit, au moyen du microscope, se former autour du pôle positif une sorte d'atmosphère transparente que Dutrochet appelle *onde positive*. Autour de cette onde et dans l'albumine environnante, on aperçoit une série d'ondulations continuelles. Soumet-on à la même action de l'eau rendue émulsive par du jaune d'œuf, il apparaît une onde diaphane jaunâtre autour du pôle négatif, et une onde opaque à sa circonférence, diaphane, jaunâtre dans son centre, au pôle positif. Ces deux ondes finissent par arriver au contact l'une de l'autre. Sur la ligne de leur jonction, il se forme un solide allongé ; ce solide est constitué par une série de globules agglomérés ; il se contracte comme une véritable fibre musculaire, en se pliant en zigzag dans le sens

(1) *Anat. génér.*, t. II, p. 118.
(2) HENLE, *loc. cit.*
(3) *Recherches sur la formation de la fibre musculaire*. Dans *Annal. des sc. nat.*, t. XXIII, p. 159.

de la longueur. Si, continuant l'expérience, on intervertit les rapports des fils conjonctifs de la pile, de manière à mettre le pôle positif à la place du négatif, et *vice versâ*, la fibre qui s'est développée tout à l'heure, sous les yeux de l'observateur, disparaît ; puis deux nouvelles ondes se forment, s'avancent l'une vers l'autre et donnent de nouveau naissance à un organe contractile entièrement semblable à celui qui s'était montré d'abord.

Si l'on fait agir la pile sur une émulsion de jaune d'œuf à laquelle on ajoute une petite quantité d'alcali, il ne se manifeste plus qu'une seule onde, qui naît au pôle positif ; le reste du liquide constitue l'onde négative, et il se forme, comme dans le cas précédent, un organe contractile qui est plissé.

Enfin, remplace-t-on le liquide précédent par quelques gouttes de sang dissoutes dans de l'eau légèrement alcaline, il y a aussi apparition de deux ondes et formation d'un organe contractile dont la couleur est rouge, et qui, suivant Dutrochet, paraît ne différer en rien d'un muscle de l'animal qui a fourni le sang ayant servi à l'expérience. En effet, la contraction musculaire consiste, d'après Prévost et Dumas, dans un plissement de la fibre en zigzag, et cette fibre est elle-même formée, suivant ces physiologistes, d'une série de globules. Dans l'expérience faite par Dutrochet, le solide linéaire qui prend naissance est constitué par une agrégation de globules, et il y a apparition de flexuosités analogues à celles d'un muscle en état de contraction. Mais, pour rendre l'assimilation complète entre ce solide et la fibre musculaire, Dutrochet invoque encore un autre argument : d'après des recherches qui lui sont propres, il admet que la fibre musculaire est composée, sur deux de ses côtés opposés, de substances organiques pourvues de qualités électrochimiques différentes. Les fibres créées artificiellement par l'action de la pile sur l'émulsion de jaune d'œuf ou sur le sang lui paraissent également formées de deux matières organiques douées d'une nature chimique et d'une électricité différentes, car l'interversion des pôles de la pile en dissocie les éléments et les transporte en sens opposé. En résumé, pour Dutrochet, la formation de la fibre musculaire s'expliquerait par l'intervention de l'électricité.

Propriétés des muscles.

I. Les muscles sont doués d'*extensibilité*, propriété qui est mise en jeu dans un grand nombre de circonstances.

Il suffit de réfléchir aux effets produits par la contraction musculaire, pour comprendre qu'à la contraction de muscles déterminés doive répondre un allongement dans les muscles antagonistes : la flexion de l'avant-bras sur le bras, due aux biceps et brachial antérieur, éloigne les insertions du triceps brachial, et conséquemment allonge ce dernier muscle ; la même chose arrive, dans l'extension de la jambe sur la cuisse, par rapport aux muscles biceps crural, demi-tendineux et demi-membraneux. Beaucoup de fonctions organiques ne sauraient s'accomplir sans la propriété dont il s'agit : comment se rendre compte, sans elle, de la distension de l'estomac par les aliments et les liquides qui y sont introduits ; de celle que subit le rectum ou la vessie, quand les matières fécales ou l'urine s'accumulent dans ces organes ? La tunique musculaire de la plupart des viscères creux de l'économie est ainsi normalement assujettie à des alternatives de dilatation et de resserrement.

Dans l'état pathologique, la même propriété se révèle : c'est ainsi que les muscles

qui recouvrent des tumeurs de diverses sortes subissent un allongement proportionnel au degré de développement des tumeurs subjacentes.

II. Les muscles ont une tendance continuelle à se raccourcir, et cette propriété, que l'on désigne sous le nom de *tonicité*, que Bichat (1) a appelée contractilité de tissu, est en lutte incessante avec l'extensibilité.

Si l'on fait la section d'un muscle, les deux bouts de l'organe se rétractent en sens opposé, et il en résulte un écartement proportionnel à la longueur des fibres. De là la nécessité, dans les plaies qui intéressent les muscles, de donner à la partie blessée une situation qui, en permettant le rapprochement des extrémités, favorise la formation d'une cicatrice. De là encore un certain nombre de préceptes donnés par les chirurgiens et applicables à l'amputation des membres; la tonicité des muscles mettant l'os à découvert à une distance plus ou moins considérable au-dessus de l'incision faite à la peau.

Il faut aussi avoir égard à la tonicité des muscles dans l'état morbide : dans l'hémiplégie faciale, par exemple, la distorsion de la bouche et du nez reconnaît pour cause la perte de la tonicité dans les muscles du côté paralysé, et la persistance de cette même propriété dans les muscles du côté sain.

III. La *sensibilité générale* est peu développée dans les muscles. On peut irriter ces organes sur les animaux, soit avec des irritants chimiques, soit avec des irritants mécaniques, sans développer des douleurs bien appréciables. Cela s'observe aussi bien sur les muscles de la vie animale que sur ceux de la vie organique. Haller (2) n'a jamais pu se convaincre par lui-même de la sensibilité du cœur, et une expérience faite sur l'homme, par Harvey, a résolu la question par la négative : il s'agissait d'un malade chez lequel une carie du sternum avait mis le cœur à découvert; cet organe fut irrité sans éveiller aucune douleur. Les expériences que Bichat (3) a exécutées sur la tunique musculeuse de la vessie lui ont donné un résultat conforme au précédent.

Les muscles possèdent une sensibilité toute spéciale, à laquelle nous devons la sensation de fatigue, sensation qui, elle-même, se développe par le fait de contractions musculaires trop souvent répétées, et dont le but est d'avertir l'homme ou les animaux de mettre un terme à des exercices immodérés.

La sensation des mouvements exécutés par nos membres ou d'autres parties de notre corps, la conscience que nous avons de l'attitude de ces parties, reconnaissent aussi pour cause un mode de sentir propre au système musculaire.

Les muscles jouissent encore de la faculté de fournir des notions sur le degré de résistance des corps dont nous apprécions la pesanteur, sujet sur lequel j'aurai occasion de revenir en traçant l'histoire du sens du toucher.

IV. L'*irritabilité musculaire* est cette propriété qu'a la fibre charnue de se raccourcir, en oscillant et en se fronçant, à l'occasion de certaines excitations, soit immédiates, soit extérieures à la fibre elle-même.

Avant de faire connaître les conditions fondamentales de l'irritabilité muscu-

(1) *Anat. génér.*, t. III, p. 337.
(2) *Mém. sur les part. irrit. et sens.*, t. I, p. 37 et 38.
(3) *Ouv. cit.*, t. III, p. 456.

laire, telles qu'elles résultent de mes propres expériences, j'exposerai quelques particularités relatives à cette propriété.

Et d'abord, on sait qu'après la cessation des phénomènes de la vie, les muscles peuvent demeurer irritables pendant un temps variable selon diverses circonstances. Nysten (1), après avoir expérimenté sur des cadavres humains provenant d'individus décapités, a établi que les organes contractiles de l'homme perdent leur irritabilité dans l'ordre suivant : En premier lieu, le ventricule gauche ou aortique, puis l'estomac et les intestins; c'est de 45 à 55 minutes après la mort, que toute contractilité disparaît dans ces parties, quand bien même on les soumet à l'influence des excitants les plus énergiques tels que l'électricité. Le ventricule pulmonaire se contracte pendant 1 heure, l'œsophage pendant 1 heure 30 minutes, l'iris pendant 1 heure 45 minutes. Parmi les muscles de la vie animale, ceux du tronc cessent d'être irritables avant ceux des membres; les muscles des membres abdominaux cessent de répondre aux stimulants avant ceux des membres thoraciques. La durée de la contractilité de ces organes a d'ailleurs singulièrement varié dans les diverses expériences entreprises par Nysten: elle a oscillé entre 2 heures 40 minutes et 7 heures 50 minutes. Constamment les oreillettes du cœur ont conservé leur contractilité alors même que cette propriété était complétement abolie dans tous les muscles de l'économie ; et, des deux oreillettes, c'est l'oreillette droite qui a présenté les dernières traces de réaction au courant électrique.

Nysten (2) s'est aussi appliqué à rechercher l'influence que l'air extérieur et la présence de gaz injectés dans le cœur exercent sur la contractilité de cet organe. Il a remarqué que l'action de l'atmosphère nuisait à la durée de la contractilité du cœur comme à celle des autres organes musculaires. En injectant différents gaz dans le cœur droit de divers animaux, et notamment de chiens, il a constaté que l'oxygène augmente la contractilité du cœur; que l'azote ne semble avoir aucune action bien déterminée, et que l'acide carbonique et l'hydrogène sulfuré diminuent sensiblement la contractilité de cet organe.

On peut se demander si les maladies ont une certaine influence sur le degré de persistance de cette propriété, après la mort. On conçoit que de pareilles expériences soient d'une exécution difficile, et que d'ailleurs elles doivent être bornées à certaines régions du corps. De quarante expériences, entreprises sur des sujets morts de diverses maladies, Nysten s'est cru autorisé à conclure que l'irritabilité s'éteint plus rapidement dans les muscles droits et obliques de l'abdomen que dans les muscles pectoraux; dans les muscles du tronc que dans ceux des membres. D'après le même observateur, les affections chroniques altèrent ou font cesser l'irritabilité musculaire plus rapidement que les maladies aiguës.

En passant de l'homme aux animaux, et en recherchant la durée de la précédente propriété dans les principales classes des vertébrés, Nysten a constaté que, chez le chien par exemple, l'ordre dans lequel les organes musculaires perdent leur irritabilité, est le suivant : le ventricule gauche, le gros intestin, l'intestin grêle, l'estomac et la vessie; l'iris, le ventricule droit, les muscles de la vie animale et l'œsophage; enfin, les oreillettes, et, en dernier lieu, l'oreillette droite. Cette dernière ne cesse d'être sensible au galvanisme que plus de huit heures après

(1) *Recherches de physiol. et de chimie pathol. — De la contractilité des organes musculaires chez l'homme*, etc., p. 315 et suiv.
(2) *Loc. cit.*

la mort. Dans les oiseaux à estomac membraneux, les choses se passent comme chez les mammifères. Dans les oiseaux à gésier, ce dernier organe cesse d'être irritable avant les intestins. Suivant Nysten, les oiseaux de haut vol, tels que l'épervier, et ceux qui déploient pendant la vie une grande activité musculaire (le chardonneret, la linotte, le bruant, etc.), perdent leur faculté contractile plus promptement que les oiseaux qui ont des mouvements faibles et lents, comme certains gallinacés.

Le même auteur a entrepris une série d'expériences sur des carpes et a constaté que la contractilité disparaissait dans l'ordre suivant : l'intestin, le ventricule, les muscles du tronc, les muscles des nageoires, l'oreillette et la veine cave. Ces deux derniers organes ne cessent d'être excitables que neuf à dix heures après la mort.

Enfin, l'ordre dans lequel la contractilité s'éteint dans la classe des reptiles, chez les grenouilles, par exemple, est le même que dans les autres classes d'animaux vertébrés; mais la durée absolue de la contractilité est ici beaucoup plus longue.

Certains agents diminuent la durée de l'irritabilité musculaire. D'après les expériences de Nysten, les muscles des animaux qui ont péri dans les gaz acide carbonique, hydrogène, oxyde de carbone, acide sulfureux, etc., restent moins longtemps irritables que les muscles des animaux qui ont succombé dans l'air atmosphérique ; résultat qui s'accorde assez bien avec celui qui a été signalé plus haut, relativement à l'influence de l'injection de gaz de diverses natures dans le cœur. Mais un autre résultat assurément imprévu, c'est que l'inhalation des gaz qui font périr les animaux sur-le-champ, comme les gaz nitreux et l'acide chlorhydrique, ne semble pas agir d'une manière bien appréciable sur l'irritabilité.

Dans mes expériences relatives aux effets de l'inhalation de l'éther sulfurique sur le système nerveux des animaux (1), j'ai maintes fois reconnu, après la mort, que l'irritabilité des muscles et l'excitabilité des nerfs du mouvement durent beaucoup moins, chez les animaux tués par l'éther, que chez ceux qui ont succombé à une autre cause de mort, à la section du bulbe, par exemple.

Des décharges électriques, assez intenses pour produire la mort, peuvent détruire instantanément l'irritabilité musculaire.

Avec l'appareil du professeur A. Masson (2) et deux éléments ordinaires de la pile de Bunsen, j'ai pu tuer plusieurs lapins en quelques minutes : les extrémités des réophores, suffisamment espacées, avaient été placées au-dessous des téguments du tronc. Un fait qui m'a beaucoup frappé, dans ces expériences, c'est d'abord la perte absolue de toute excitabilité dans l'appareil nerveux moteur, immédiatement après la mort. J'ai appliqué successivement à divers troncs nerveux et à leurs ramuscules terminaux des courants *direct* et *inverse* d'une grande puissance, sans jamais parvenir à déterminer les moindres contractions musculaires. Quant aux muscles eux-mêmes, comme nous l'avons constaté Masson et moi, la plupart avaient

(1) Mém. inséré dans les *Arch. génér. de méd.*, t. XIII, p. 380, 4e série, 1847.

(2) Cet appareil consiste en une roue métallique, supportée par un axe également métallique, que l'on fait tourner au moyen d'une manivelle sur deux coussinets amalgamés. Un de ces coussinets communique avec l'un des pôles de la pile, et l'autre pôle est en rapport avec un fil qui, après s'être enroulé en spirale autour d'un cylindre de fer doux, aboutit à une lame métallique immobile que les dents de la roue peuvent venir frapper successivement. Quand on fait tourner celle-ci, le circuit est fermé chaque fois que la lame touche une des dents, et il s'interrompt au moment où un des interstices se met en rapport avec elle : *en saisissant* avec les mains mouillées les deux extrémités du conducteur, on *éprouve alors une série de violentes* secousses dans les bras.

complétement cessé d'être irritables, et quelques uns réagissaient d'une manière à peine appréciable, quoique les extrémités des réophores fussent plongées dans leur épaisseur.

L'influence de la congélation sur l'irritabilité musculaire a fixé l'attention de Carlisle (1). En exposant une moitié inférieure de grenouille à la température de 30 degrés F. (— 0 $\frac{8}{9}$ R.), et en maintenant cette portion congelée pendant huit heures, il a observé qu'après le dégel l'irritabilité n'avait rien perdu de son intensité. Une autre moitié de grenouille, maintenue pendant douze heures à une température de 12 degrés F. (— 5 $\frac{3}{9}$ R.), a fourni un résultat semblable.

Le même observateur a étudié l'influence de températures élevées sur la propriété qui nous occupe : il a constaté qu'à 100 degrés F. (30 $\frac{2}{9}$ R.), les muscles des animaux à sang froid perdent l'irritabilité, et qu'à 110 degrés F. (34 $\frac{4}{9}$ R.), celle-ci disparaît également dans les muscles des animaux à sang chaud. Carlisle a encore recherché l'influence de l'immersion des muscles dans divers liquides, et il a reconnu qu'un muscle plongé dans une solution de sulfure de potasse cesse d'être irritable au bout de vingt minutes; qu'après ce même temps l'irritabilité se retire d'un muscle immergé dans une solution étendue d'acide acétique; qu'au contraire elle s'y conserve si l'on emploie une solution de potasse, et qu'elle disparaît quand on se sert d'eau distillée pure.

Entre l'irritabilité, cette propriété qui caractérise les muscles vivants, et la cohésion ou la ténacité de ces organes dans le sens de la longueur de leurs fibres, il existe une corrélation remarquable qui a été signalée par Carlisle (2).

Quand un muscle cesse d'être irritable, sa force de cohésion, dans le sens de ses fibres ou de sa longueur, est diminuée. L'expérience suivante le prouve : Après avoir écorché la moitié inférieure d'une grenouille, séparée du tronc, mais encore attenante aux os du bassin, Carlisle plongea la cuisse et la jambe d'un côté pendant deux minutes, dans de l'eau à 115 degrés F. (37 R.). Ce temps suffit pour faire cesser l'irritabilité dans ces parties. L'os de chaque cuisse fut fracturé vers le milieu de sa longueur, sans attaquer les muscles, et un plateau de balance fut attaché à chacun des pieds; des poids successivement croissants furent mis dans ces plateaux, jusqu'à rupture de part et d'autre. La cuisse, dans laquelle l'irritabilité était détruite, fut rompue dans l'endroit le plus charnu du muscle, par un poids de 5 livres; l'autre porta 6 livres avant de se rompre de la même manière. On répéta l'expérience sur d'autres grenouilles, et constamment le membre encore irritable soutint un poids d'un sixième plus considérable que celui auquel cédait le membre qui avait perdu son irritabilité.

Phénomènes qui accompagnent la contraction musculaire.

Lorsqu'on observe un muscle pendant sa contraction, par exemple un des muscles longs d'un membre, on voit que ce muscle se raccourcit, qu'il se gonfle et se durcit. Il suffit de porter la main sur le bras d'un homme vigoureux au moment où il ploie fortement son avant-bras, pour constater ces trois phénomènes,

(1) *On muscular motion.* Dans *Philos. transact.*, et dans *Biblioth. britannique*, t. XXXI, p. 112.
(2) *Philos. trans.*, 1804.

qui sont essentiellement liés les uns aux autres. Ici se présente tout d'abord une question qui a donné lieu à de nombreux débats et fourni matière à des expériences plus ou moins ingénieuses : je veux parler de la persistance du volume absolu du muscle.

I. Dans le but d'expliquer le mécanisme de la contraction musculaire, Prochaska (1) a supposé que le sang afflue dans les vaisseaux du muscle contracté, que ce liquide dilate les vaisseaux situés dans le sens transversal et raccourcit les vaisseaux situés dans le sens longitudinal.

Cette théorie, d'après son auteur, rend compte de la diminution de longueur du muscle, de l'augmentation de celui-ci en largeur, mais elle admet implicitement que, par l'abord du sang en plus grande quantité, le volume total du muscle doit être accru.

Avant Prochaska, Borelli (2) avait pensé que le volume du muscle augmente pendant la contraction, et, avant Borelli, Glisson (3) avait déjà cherché à vérifier expérimentalement la même opinion : il se servit d'un tube de verre propre à contenir le bras d'un homme ; à ce tube fut annexée une petite branche ; l'appareil une fois luté avec le bras et rempli d'eau, on fit exécuter de fortes contractions au membre, et l'on observa au même moment un abaissement dans le niveau de l'eau contenue dans la petite branche. Aussi, contrairement à son premier sentiment, Glisson soutint-il que, pendant la contraction, le volume du muscle diminue.

Carlisle (4) ayant répété l'expérience de Glisson et constaté une élévation dans le niveau du liquide renfermé dans le tube latéral, au lieu d'un abaissement, en a conclu, bien entendu, que le volume du muscle augmente pendant la contraction.

Antérieurement à Carlisle, G. Blanc (5) avait varié la même expérience : Il plonge la moitié postérieure d'une anguille dans un flacon plein d'eau. Ce flacon présente lui-même un col étroit à travers lequel on introduit un fil de fer qui passe par le milieu d'un bouchon fermant le vase ; à ce dernier se trouve adapté un tube latéral. Au moyen du fil de fer mobile, on peut aller piquer le tronçon d'anguille de manière à obtenir des contractions. Blanc, n'ayant reconnu aucun changement dans le niveau de l'eau, affirme que, pendant la contraction, le volume du muscle reste invariable.

Barzellotti (6) a exécuté, à l'exemple de Blanc, l'expérience suivante : Il se sert d'un vase conique, de la partie inférieure duquel s'élève latéralement un tube aussi étroit que celui d'un thermomètre. Le vase est rempli d'eau, et au fond se trouve une pièce d'argent. On introduit dans l'appareil la moitié inférieure d'une grenouille dont le nerf crural est armé d'étain, et, à l'instant où le nerf est rapproché de la pièce d'argent, survient une contraction des muscles de la grenouille. Si, à ce moment, on observe le niveau de l'eau dans le tube latéral, on n'y remarque aucun changement ; d'où Barzellotti a conclu, contrairement à l'opinion énoncée

(1) *De carne musculari*, in *Op. min.* pars, I, § II. Viennæ, 1800.
(2) *De motu animalium.* Romæ, 1681.
(3) *Tractatus de ventriculo et intestinis*, cap. VIII. Londres, 1676.
(4) *Transact. philos.*, 1804 ; et *Biblioth. britannique*, vol. XXXI, p. 109.
(5) *Lecture on muscular motion.* Dans *Philos. transact.*, 1791.
(6) *Esame di alcune moderne teorie interno alla causa prossima della contrazione muscolare.* Siena, 1796. — *Sur la cause prochaine de la contraction musculaire.* Dans Biblioth. *britannique, 1806, t. XXXII, p. 221.*

par Glisson et Carlisle, que le volume absolu du muscle ne change pas pendant la contraction.

Barzellotti (1) a voulu également vérifier si la théorie de Prochaska était admissible. Après avoir coupé les vaisseaux d'un muscle au moment de sa contraction, il s'est assuré, au moyen du microscope, qu'il n'y avait aucun mouvement du sang au niveau des ouvertures des vaisseaux coupés. Mais ce qui donne, suivant Barzellotti, un démenti éclatant à la théorie précédente, c'est que le muscle se contracte sous l'influence d'excitants, alors même que par le refroidissement on a déterminé la coagulation du sang renfermé dans les vaisseaux de l'organe (Exp., 7, 8, 9). Ajoutons que, contrairement aussi à l'opinion de Prochaska, Carlisle (2) affirme que la quantité de sang qui imprègne un muscle, au moment de la contraction, est moindre que pendant l'état de repos.

Plus récemment encore, Prévost et Dumas (3) ont répété l'expérience de Barzellotti et l'ont variée en disposant dans un flacon des masses musculaires plus considérables, afin de multiplier l'effet dû à la variation de volume présumée ou possible pendant la contraction. Comme Barzellotti, ils n'ont observé aucun changement dans le niveau du tube.

De ces dernières expériences, il semble donc rationnel de conclure que, quand un muscle se contracte, son volume absolu ne change pas, et que le muscle contracté gagne en épaisseur ce qu'il perd en longueur.

II. Un autre phénomène qui mérite notre attention, c'est la présence de rides ou de plis à la surface du muscle pendant sa contraction. Prévost et Dumas (4) ont bien étudié et décrit tous les faits qui se rattachent à ce point intéressant de la contraction musculaire. Pour l'apercevoir, ils conseillent de transporter sous le microscope le muscle sterno-pubien de la grenouille, et de le soumettre à un courant électrique : aussitôt que le courant est établi, le muscle se contracte, les fibres parallèles qui le composent se fléchissent en zigzag et présentent un grand nombre d'ondulations régulières : dès que la contraction cesse, ces mêmes ondulations disparaissent. Du reste, elles ont toujours lieu dans des points déterminés et ne changent jamais de position lorsque, après avoir interrompu le courant, on le rétablit.

De ce que les fibres musculaires deviennent flexueuses et ondulées, il en résulte que les bords du faisceau présentent une série successive d'angles saillants et rentrants. Ces angles ont une ouverture qui varie d'après le degré de la contraction ; mais jamais Prévost et Dumas n'ont pu arriver, même à l'aide des contractions les plus fortes, à produire un angle de 50 degrés ou au-dessous.

Ces observateurs se sont attachés à mesurer, avec la plus scrupuleuse exactitude, les distances qui séparent les lignes allant d'un angle à l'autre et la longueur des lignes qui suivraient les sinuosités ou ondulations de la fibre contractée. Ils sont ainsi arrivés à reconnaître que la fibre musculaire se raccourcit de 23 centièmes. La détermination directe du degré de raccourcissement du muscle, en mesurant, d'une part, la longueur du muscle relâché, et, d'autre part, la longueur du muscle contracté, leur a permis de constater que ce raccourcissement était de 27 centièmes, chiffre qui se rapproche du précédent.

(1) *Rec. cit.*, t. XXXII, p. 228.

(2) *On muscular motion.* Dans *Philos. trans.*, 1804 ; et *Biblioth. britannique*, t. XXXI, p. 115.

(3) *Mémoire sur les phénomènes qui accompagnent la contraction de la fibre musculaire.* Dans *Journ. de physiol. expérim.*, 1823, t. III, p. 304.

(4) *Loc. cit.*

Ces observations démontrent donc que le raccourcissement de la fibre, pendant la contraction, est dû seulement à la flexion de la fibre elle-même.

Prévost et Dumas ne se sont pas arrêtés à ces premières données ; ils ont voulu pousser plus loin l'investigation, en déterminant le mode de terminaison des nerfs dans les muscles. Ils admettent que les filets nerveux, qui naissent des ramuscules, se jettent dans le muscle perpendiculairement à ses propres fibres, pour retourner dans le tronc qui les a fournis, ou bien encore aller s'anastomoser avec un tronc voisin ; que si l'on fait passer un courant électrique au travers d'un muscle, on voit les sommets des angles formés par les fibres contractées correspondre au passage des filaments nerveux.

C'est d'après cette double observation que Prévost et Dumas ont prétendu que le phénomène de la contraction musculaire est produit par des courants électriques qui, traversant les filets nerveux parallèles, détermineraient leur attraction réciproque, d'après la loi formulée par Ampère sur les courants dirigés dans le même sens.

On voit que cette théorie se lie immédiatement à la question de l'existence supposée de courants électriques dans les nerfs. Cette question mérite d'être étudiée à part ; nous l'avons réservée pour un paragraphe spécial.

S'il nous est démontré que la flexion en zigzag des faisceaux musculaires rend compte du raccourcissement du muscle pendant la contraction, il n'en est pas de même de l'opinion formulée par Lauth (1), qui prétend expliquer le raccourcissement du muscle par le rapprochement des globules qui constituent les fibres primitives. Cette interprétation repose, comme on le voit, sur une structure des fibres primitives qui n'est plus admise aujourd'hui par la plupart des micrographes.

Nous venons de rapporter cinq des phénomènes que l'on observe durant la contraction d'un muscle ; savoir, son raccourcissement, sa tuméfaction, son durcissement, sa persistance de volume absolu, et, enfin, la présence de rides ou de plis à sa surface. Qu'il nous suffise de mentionner ici trois autres phénomènes : l'invariabilité de couleur du muscle, son état de tremblement ou d'oscillation et son élasticité, dernière propriété acquise, dit-on, au moment même de la contraction.

III. Toutes les fois qu'on fait communiquer les deux fils d'un galvanomètre, l'un avec la surface intérieure d'un muscle doué encore de vitalité, l'autre avec la périphérie du même muscle, on observe que l'aiguille est déviée de sa position primitive d'équilibre et que, après quelques oscillations, elle s'arrête en faisant un angle avec le méridien magnétique. Cette intéressante découverte appartient à Matteucci.

L'application du galvanomètre à l'étude des phénomènes électro-physiologiques avait déjà été faite par Nobili dans ses recherches sur ce qu'on a nommé longtemps le *courant propre* de la grenouille. La *patte*, dite *galvanoscopique* (2), d'une grenouille peut être aussi employée pour mettre en évidence les conditions électriques naissant du rapport des différentes parties du système musculaire.

Quoique les derniers termes de la solution du problème des courants électriques musculaires ne soient pas encore atteints, il est juste de rendre hommage aux tra-

(1) *L'Institut*, nos 57, 70, 73.

(2) Ce petit appareil, très commode et très sensible, qui permet d'étudier le courant musculaire dans plusieurs circonstances, *n'est autre* chose qu'une jambe de grenouille écorchée, désarticulée *avec soin à son union avec la cuisse*, de manière à y laisser adhérent le nerf sciatique bien intact.

vaux de Nobili, de Matteucci, de Du Bois-Reymond sur cet important sujet. Ici nous chercherons à préciser seulement les points les mieux arrêtés de cette partie de la science.

Laissant de côté les faits de détail pour s'arrêter aux principes, on peut dire avec Pouillet (1), que les découvertes de Matteucci sur cette question se résument dans les propositions suivantes :

1° Dans tous les animaux à sang froid et à sang chaud, où vivants ou récemment privés de la vie, il y a un courant électrique musculaire dirigé dans le muscle lui-même, de son intérieur à sa surface.

2° La grenouille ou plutôt la patte rhéoscopique entre en contraction, lorsque son nerf est mis en contact avec le muscle d'une autre grenouille ou avec celui d'un lapin, et qu'on détermine dans ce muscle une contraction prononcée, soit à l'aide d'un courant extérieur, soit par des actions mécaniques.

Matteucci a désigné ce dernier phénomène sous le nom de *contraction induite*, attribuant l'action produite sur la grenouille rhéoscopique non pas à l'électricité, mais à l'intervention d'une force spéciale qui serait, suivant lui, l'agent nerveux.

Du Bois-Reymond a donné une plus grande précision à l'énoncé de la première proposition. Il a été conduit, en étudiant avec un soin et une patience dignes d'éloges les lois du courant électrique musculaire, à émettre une explication satisfaisante de la contraction induite. Voici les déductions de ses expériences :

Les muscles d'un animal quelconque, tant que dure leur vitalité, c'est-à-dire pendant tout le temps qu'ils sont encore aptes à se contracter sous l'influence d'une excitation électrique, chimique ou mécanique, donnent naissance à un courant électrique que le galvanomètre peut mettre en évidence et qui est dirigé, en dehors du muscle, de la surface de la *section longitudinale* à celle de la *section transversale*.

« Toutes les fois, dit Du Bois-Reymond (2), qu'un arc conducteur est établi entre un point quelconque de la coupe longitudinale, soit naturelle, soit artificielle, du muscle et un point également arbitraire de la coupe transversale, soit naturelle, soit artificielle, du même muscle, il existe dans cet arc un courant dirigé de la coupe longitudinale à la coupe transversale du muscle. »

Il s'agit de définir ce qu'on doit entendre par *coupe longitudinale* et *coupe transversale*. Du Bois-Reymond (3) nomme section longitudinale du muscle une surface du muscle telle, qu'elle ne présente que les côtés des prismes qui figurent les faisceaux primitifs. La coupe est dite longitudinale naturelle, lorsqu'il s'agit de la surface charnue des muscles intacts; elle est dite, au contraire, section longitudinale artificielle, quand c'est une surface identique dénudée par divers modes de préparation.

La coupe transversale du muscle est une surface du muscle disposée de manière à n'offrir que les bases des prismes qui figurent les faisceaux primitifs, indépendamment de l'angle fait par le plan de la coupe et la direction des fibres. La section transversale artificielle est obtenue par l'action d'un instrument tranchant. La coupe transversale naturelle existe partout où, dans le système musculaire, on voit

(1) *Comptes rendus de l'Acad. des sc. de Paris*, t. XXXI, p. 28.
(2) Dans *Annales* de Poggendorf, janvier 1843.
(3) *Annales de chimie et de physique*, t. XXX, p. 119.

les extrémités des faisceaux primitifs s'insérer directement sur des fibres aponévrotiques ou tendineuses. Le muscle gastrocnémien de la grenouille offre un des exemples les plus nets de la coupe transversale naturelle dans l'insertion des fibres musculaires sur l'aponévrose tendineuse du triceps.

Il faut maintenant faire connaître comment varie l'intensité du courant dont nous venons de donner la loi. Par *intensité du courant*, on doit entendre la grandeur d'action qui se mesure par l'effet électro-dynamique à distance égale, ou par l'effet électro-chimique produit dans l'unité de temps.

Or, pour bien définir les lois de l'intensité du courant, il est nécessaire, à l'exemple de Du Bois-Reymond (1), de supposer au muscle la forme cylindrique droite à base circulaire. L'équateur du cylindre sera le cercle d'intersection de la surface latérale du cylindre et d'un plan normal à l'axe et passant à égale distance des deux bases. Pour que l'aiguille d'un galvanomètre reste en repos, lorsque les deux extrémités de son fil sont en contact avec le muscle, il faut que les deux extrémités soient dans la surface latérale du cylindre, et de plus qu'elles soient également éloignées des centres de ces bases. Toutes les fois que ces conditions très restreintes ne seront pas satisfaites, il se manifestera une déviation de l'aiguille telle qu'elle indiquera un courant dirigé dans l'arc dérivateur, de l'extrémité la plus rapprochée de l'équateur à l'extrémité plus rapprochée de l'une des bases du cylindre. La déviation sera d'autant plus grande que le point du milieu entre les extrémités de l'arc dérivateur sera plus près de la limite entre la surface latérale du cylindre et l'une de ses bases.

On comprend facilement que si la différence du point *milieu* à cette limite devient plus petite que la demi-distance des deux extrémités de l'arc l'une de l'autre, ou que si, en d'autres termes, l'une de ces deux extrémités est appliquée à la surface latérale et l'autre à la base du cylindre, le courant conservera la même direction, mais subira une augmentation considérable d'intensité. C'est d'ailleurs un cas particulier qui rentre dans le premier énoncé de la loi indiquée plus haut.

Il résulte des observations multipliées de Du Bois-Reymond, que l'intensité du courant développé par un muscle quelconque est d'autant plus grande que la puissance contractile de ce muscle est elle-même plus considérable. Cette proposition s'applique aussi bien aux muscles soumis à l'influence de la volonté qu'aux muscles de la vie organique. Ainsi les fibres musculaires du cœur produisent une forte déviation de l'aiguille, tandis que les faisceaux isolés des muscles annulaires des intestins ne développent qu'un courant très faible. Cet exemple est parfaitement démonstratif, car chacun connaît la puissance motrice énergique du cœur, et l'on conçoit la faiblesse des muscles de l'intestin en réfléchissant aux effets mécaniques peu considérables qu'ils ont à produire.

Une des découvertes les plus intéressantes de Du Bois-Reymond consiste dans l'explication des phénomènes électriques qui accompagnent la contraction musculaire.

L'expérience fondamentale destinée à mettre en évidence l'influence de la contraction musculaire sur les courants organiques est la suivante (2) :

(1) *Loc. cit.*
(2) *Annales de chimie et de physique*, t. XXX, p. 178.

Le muscle gastrocnémien d'une grenouille étant mis en rapport, par sa tranche longitudinale et sa section transversale, avec les deux extrémités du fil galvanométrique, de façon à obtenir une déviation, on détermine, en agissant sur le nerf qui s'y rend, des contractions répétées. Aussitôt que le muscle est tétanisé, l'aiguille recule, dépasse le zéro du cadran et oscille de l'autre côté pendant la durée du tétanos.

La grandeur de l'action négative, qui naît sous l'influence du tétanos, est proportionnelle à l'intensité primitive du courant musculaire.

Une étude approfondie de ces faits prouve que, par la contraction musculaire, la loi du courant est modifiée, et que, par l'effet de cet acte, toutes les ordonnées de la courbe des intensités du courant subissent une réduction de leur grandeur proportionnelle à leur grandeur relative (1).

En tenant compte de la durée excessivement courte des contractions musculaires normales, et du moment d'inertie de l'aiguille du galvanomètre, on arrive à voir qu'une contraction unique ne produirait dans cette expérience aucun résultat électrique appréciable. La tétanisation du muscle devenait dès lors nécessaire pour mettre hors de toute contestation les faits précédents. Cet état particulier de l'appareil locomoteur a été obtenu par des moyens très divers; action des courants d'induction, absorption des sels de strychnine, irritation mécanique répétée : les résultats ont toujours été confirmatifs de la loi donnée par Du Bois-Reymond.

Cette dernière proposition et la loi du courant musculaire conduisent directement à une explication de la *contraction induite* de Matteucci. Si, en effet, on pose au hasard le nerf de la patte rhéoscopique sur la cuisse dénudée d'une grenouille récemment tuée, il est infiniment probable que ce nerf ira toucher deux points de la surface du membre tels qu'il se trouvera parcouru par une portion du courant qui circule incessamment de la coupe transversale à la section longitudinale de tous les muscles.

Cela étant admis, on comprend que toutes les fois que, par une contraction des muscles de la cuisse, le courant traversant le nerf de la patte rhéoscopique subira une variation d'intensité, ce phénomène se traduira par une contraction simultanée des muscles de la grenouille rhéoscopique.

Telle est l'explication qui nous paraît suffisamment exacte des phénomènes de la contraction induite.

Il reste à faire mention d'une expérience très digne d'intérêt et qui, suivant Du Bois-Reymond, a été l'origine de la découverte du courant musculaire chez l'homme vivant.

Sur une grenouille entière et vivante, on coupe, à la hauteur du bassin, l'un des nerfs sciatiques; puis on la dispose de telle sorte, que par chacune de ses extrémités inférieures, elle entre dans le circuit d'un galvanomètre et le ferme: il n'y a aucune déviation produite. Si l'on détermine le tétanos dans le membre inférieur dont le nerf sciatique est intact en faisant absorber un sel soluble de strychnine à l'animal, on observe, aussitôt que les contractions se manifestent, une déviation de l'aiguille du galvanomètre. Or, la position prise par cette aiguille indique un courant qui est, en dehors, dirigé du membre dont les muscles sont contractés à celui

(1) *Loc. cit.*

qui est à l'état de repos; le membre contracté est donc traversé par un courant *direct*.

L'expérience faite sur l'homme est à peu près identique; seulement les mutilations et le tétanos sont remplacés par l'action de la volonté confinée dans les muscles d'un seul bras. Pour réussir à manifester, chez l'homme, les phénomènes électriques qui accompagnent la contraction musculaire, on doit, à l'exemple de Du Bois-Reymond, faire usage d'un galvanomètre doué d'une exquise sensibilité. Deux lames de platine larges et de même dimension terminent les deux extrémités du fil, et plongent dans deux vases de terre contenant une solution sur-saturée de sel marin. Lorsque l'on plonge les doigts indicateurs de chaque main dans chacune des dissolutions de manière à faire entrer les deux bras dans le circuit du galvanomètre, au moment de l'immersion on observe seulement des effets accidentels, qui ont probablement pour origine le défaut d'homogénéité de la surface cutanée de chacun des doigts. L'aiguille du galvanomètre ne tarde pas, après quelques instants, à reprendre la position d'équilibre première. Mais si l'on vient alors à contracter, avec beaucoup d'énergie, les muscles de l'un des bras, en laissant ceux de l'autre dans un relâchement absolu, l'aiguille du galvanomètre est déviée, et le sens de la déviation indique un courant *inverse*, en d'autres termes, un courant dont la direction va de la main à l'épaule dans le membre où l'on détermine une contraction.

Suivant Du Bois-Reymond, si avant la contraction l'aiguille du galvanomètre n'est pas influencée, cela tient à ce que, dans chacun des membres, il existe un courant de même intensité et de direction inverse.

Lors de la contraction des muscles de l'un des bras, ce n'est pas un courant nouveau qui s'établit, mais il y a affaiblissement du courant préexistant, et par conséquent prédominance du courant non modifiée du bras en repos.

Cette expérience intéressante est assimilée par Du Bois-Reymond à celle qu'on exécute sur la grenouille dont on a coupé l'un des nerfs sciatiques. Il faut remarquer, avec Pouillet (1) que cette assimilation n'est pas suffisamment justifiée, puisque, dans le membre de l'homme et dans celui de la grenouille, les courants sont de directions contraires.

Quel que soit l'intérêt des faits divers qui viennent d'être exposés, il reste sur les causes de leur développement et sur leur nature intime des doutes qui ne permettent pas d'adopter, sans restriction, l'opinion des savants qui se sont occupés de cette difficile étude. Nous citerons, pour terminer ce sujet, les conclusions du rapport de l'Institut (2) :

« 1° Il est probable que ces courants ne résultent pas d'une action chimique » extérieure ;

» 2° Il n'est pas démontré qu'ils résultent d'une action chimique intérieure ; c'est » là une question à résoudre, et, suivant qu'elle recevra une solution positive ou » négative, les conséquences ultérieures prendront des caractères très différents. »

IV. Nous n'avons que quelques mots à dire sur le système musculaire considéré au point de vue du développement de la chaleur. Ce sujet a déjà trouvé sa place lorsque nous avons traité de la température propre des animaux et des causes de la chaleur animale.

(1) *Rapport et rec. cit.*
(2) POUILLET, *loc. cit.*

Becquerel et Breschet (1), par leurs recherches sur la température de divers organes chez l'homme et les animaux, recherches dans lesquelles ils ont mis en usage les appareils thermo-électriques les plus délicats, ont établi ce qui suit :

1° La température des muscles en repos surpasse celle du tissu cellulaire qui enveloppe ces organes; cette différence, qui varie de 2°,25, à 1°,25, doit être attribuée à un refroidissement continuel de l'homme ou de l'animal par le milieu dans lequel il se trouve plongé.

2° La température des muscles à l'état de repos n'est pas la même que celle de ces mêmes organes en contraction : des expériences nombreuses prouvent que, pendant la contraction, il y a élévation de température et que cette élévation peut aller jusqu'à un demi-degré centigrade.

Nous nous bornons à l'indication de ces deux propositions : nous ne pouvons signaler ici les causes présumées des phénomènes nouveaux qu'elles contiennent, car elles nous paraissent se déduire immédiatement des explications que nous avons fournies antérieurement sur les causes du développement de la chaleur dans les êtres organisés.

Conditions de l'irritabilité musculaire (2).

Nous avons déjà défini l'*irritabilité musculaire*, la propriété qu'a la fibre charnue de se raccourcir, en oscillant et en se fronçant, à l'occasion de certaines excitations, soit *immédiates*, soit extérieures à la fibre elle-même.

Une des questions les plus graves et les plus obscures de la physiologie, question qui a donné lieu à des expériences et à des controverses sans nombre, est la suivante : l'irritabilité musculaire est-elle une force inhérente à la matière fibrineuse des muscles, ou bien sa source unique est-elle dans le système nerveux ?

Pour tâcher, à notre tour, de résoudre un problème aussi longuement débattu, nous avons cru devoir nous proposer d'abord la solution de questions multiples dont voici l'énoncé :

1° Quelle est, dans les *nerfs moteurs* séparés de l'axe cérébro-spinal, la durée de leur *excitabilité*, c'est-à-dire de leur aptitude à faire contracter la fibre charnue quand on les irrite directement ? 2° Avec l'excitabilité de cette classe de nerfs, voit-on disparaître l'irritabilité musculaire ? 3° Les *nerfs sensitifs* influencent-ils cette dernière propriété ? 4° Les fibres nerveuses, dites *grises ou organiques*, concourent-elles à l'entretien de l'irritabilité musculaire ? 5° Enfin, dans quelles limites celle-ci dépend-elle de l'influence du sang ?

1° L'intéressant problème qui consiste à déterminer l'époque précise à laquelle un nerf moteur, ne communiquant plus avec l'axe cérébro-spinal, perd son *excitabilité* ou son pouvoir d'exciter des contractions quand on l'irrite directement, n'a

(1) *Annales de chimie et de physique*, 2e série, t. XXXIX, p. 132.

(2) Les résultats suivants ont été publiés par nous, en 1841, dans un mémoire intitulé : *Recherches expérimentales sur les conditions nécessaires à l'entretien et à la manifestation de l'irritabilité musculaire.*

été résolu, jusqu'à présent, par les expérimentateurs, que d'une manière incomplète ou erronée.

Legallois (1), ayant détruit la moelle lombaire d'un lapin qu'il choisit âgé de moins de dix jours, afin que, suivant son expression, cet animal *pût continuer de vivre*, nous dit : « Quoique, dans cette expérience, le train de derrière soit frappé de mort et que ses nerfs ne puissent plus recevoir aucune influence de la moelle épinière, l'irritabilité musculaire s'y conserve, et l'on peut, *pendant fort longtemps*, faire contracter les cuisses en irritant les nerfs sciatiques. Il paraît donc qu'il se fait, dans toute l'étendue des nerfs, une sécrétion d'un principe particulier. » Dans ce passage, Legallois s'exprime d'une manière tellement vague qu'on ne peut savoir si, par ces mots *pendant fort longtemps*, il entend parler d'heures, de jours ou de semaines.

J. Müller et Sticker (2) resèquent d'abord, sur deux lapins et un chien, le grand nerf sciatique; puis ils essaient de reconnaître l'état réactionnaire de son extrémité inférieure, seulement, au bout de *onze semaines* sur le premier lapin, après *cinq semaines* sur le second, et chez le chien après *deux mois et demi*. Dans ces trois cas, qu'on la galvanisât ou qu'on l'irritât mécaniquement, cette extrémité ne provoquait plus la moindre contraction musculaire.

Mais ces expériences ne résolvent nullement la question, à cause du laps de temps trop considérable qui s'est écoulé entre le moment de la résection et celui de l'expérience principale. De plus, ces physiologistes ayant fait usage d'une simple paire de plaques au lieu d'une pile suffisamment forte, on pourrait objecter qu'ainsi ils n'ont pas reconnu d'une manière décisive l'état de l'excitabilité dans le bout libre du sciatique. D'ailleurs, après l'exemple du second lapin, mis en expérience seulement au bout de cinq semaines, on trouve (*ouv. cit.*, t. I, p. 690) cette assertion contradictoire : « Ce n'est qu'après avoir été soustrait *pendant plusieurs mois* à l'influence des parties centrales, qu'un nerf perd totalement son irritabilité, comme le démontrent les expériences faites par moi et Sticker. »

Steinrüch (3) a procédé comme les auteurs précédents ; seulement, c'est au bout de quatre semaines qu'il a de nouveau découvert le sciatique, dont l'extrémité périphérique ne lui a plus paru excitable.

Dans mes recherches (4), j'ai adopté une tout autre marche que celle qu'avaient suivie ces expérimentateurs. Ainsi, je ne me borne point à opérer la résection d'un nerf et à attendre pendant plusieurs semaines ou même plusieurs mois pour expérimenter sur l'excitabilité de son bout libre : au contraire, dès le lendemain celui-ci est *essayé* par le galvanisme et par les irritants mécaniques ; les mêmes tentatives sont répétées le surlendemain, etc., et constamment son excitabilité est entièrement éteinte *après le quatrième jour*.

Il importe d'ajouter que le résultat est le même, lorsque, après sa résection, le nerf n'est pas soumis aux stimulations précédentes.

Après le quatrième jour, pour mieux juger encore l'état des muscles lors de l'excitation de leurs nerfs, je découvre les uns et les autres dans une partie bien saine du membre (5), et jamais alors le galvanisme, appliqué *même aux ramus-*

(1) *Œuvres compl.*, édit. 1830, p. 24.
(2) *Manuel de physiologie*, par J. Müller, trad. de Jourdan, t. I, p. 552.
(3) *De regeneratione nervorum*. Berlin, 1838.
(4) *Mém. cit.*
(5) A-t-on *resiqué le nerf sciatique à la cuisse*, il faut agir, non sur les muscles de celle-ci, mais

cules nerveux, ne suscite les plus légères contractions de la fibre musculaire.

Toutefois, dans ces expériences, délicates à reproduire, il est bien important de ne point faire usage d'une pile trop forte ; autrement, le fluide galvanique lui-même pourrait être transmis par la division du nerf jusqu'aux muscles, qui ne manqueraient point de manifester une réaction (1) : il s'agit ici, au contraire, seulement de faire passer un courant dans le rameau nerveux lui-même, pour prouver que toute force motrice y a disparu.

Afin de rendre les résultats plus frappants, les mêmes épreuves sont comparativement effectuées, par l'emploi des mêmes moyens, sur les nerfs correspondants du côté sain : au lieu des résultats négatifs constatés dans le premier cas, on obtient toujours les contractions les plus manifestes.

J'ai voulu savoir si les produits seraient différents en agissant sur des nerfs seulement musculaires, comme l'hypoglosse et le facial, ou sur des nerfs destinés à la fois aux muscles et aux téguments, comme le sciatique : les résultats ont été identiques sur quatorze chiens et deux lapins.

Mes expériences ont encore été variées de la manière suivante : tantôt, sur un chien, la résection du sciatique étant pratiquée, je soumettais aussitôt son extrémité libre, pendant trente minutes ou parfois une heure, à un courant électrique alternativement direct et inverse, d'où des secousses convulsives de tout le membre ; tantôt, sur un autre chien, cette extrémité n'était soumise à aucune espèce d'irritation électrique ou autre. Chose remarquable ! *la durée de l'excitabilité a toujours été la même dans les deux cas :* seulement, chez le premier chien les contractions du membre étaient, à chaque épreuve, beaucoup moindres que chez le second. Du reste, encore dans ces deux cas, celles-ci décroissaient progressivement depuis le moment de la résection jusqu'à celui où elles disparaissaient d'une manière complète. Mais, dans l'expérience préalable avec le galvanisme, une portion de la force motrice semble donc avoir été éliminée, tandis que l'autre, persistant toujours pendant un temps déterminé, a d'abord été refoulée dans les dernières ramifications nerveuses, d'où n'a pu l'expulser l'agent électrique. Cette force motrice, en quelque sorte à l'état latent, peut encore néanmoins se manifester par des contractions, quand, avant le quatrième jour, on galvanise les ramuscules nerveux : après ce laps de temps, elle a spontanément disparu d'une manière complète.

Ces expériences démontrent donc que ce n'est point, comme on l'a avancé, après avoir été soustrait à l'influence des parties centrales pendant *plusieurs mois*, mais seulement pendant *quatre jours révolus*, qu'un nerf moteur perd tout à fait son excitabilité, c'est-à-dire son pouvoir d'exciter des contractions musculaires quand on l'irrite directement (2).

2° *L'irritabilité musculaire disparaît-elle ou non avec l'excitabilité des nerfs de mouvement ?*—Cette question et celle que nous venons de traiter sont tellement connexes, que, dans leur étude, il est difficile de les séparer : d'ailleurs, chacun

sur ceux de la jambe ; cette précaution est indispensable, car, puisque les muscles de la première sont animés par les rameaux sortis de ce nerf au niveau de l'échancrure ischiatique, et par conséquent au-dessus du point où la résection a été pratiquée, il est clair qu'en agissant sur ces rameaux on obtiendrait des contractions.

(1) A ce sujet, on peut se rappeler que, même avec les racines spinales postérieures divisées, il est facile d'exciter des contractions locales, en faisant usage d'un courant d'une certaine intensité.

(2) GUENTHER et SCHOEN (cités par Müller, *Physiol.*, t. I, p. 552) assignent le terme *de huit jours*, c'est-à-dire, comme le démontrent nos expériences, un terme seulement approximatif.

concevra que sa solution serait demeurée impossible sans la distinction physiologique, définitivement établie dans notre siècle, entre les divers cordons nerveux. Il me fallut donc faire choix d'un nerf exclusivement moteur dont l'isolement fût facile, et la septième paire dut se présenter naturellement à mon esprit.

Sur deux chiens d'une assez forte taille, je mis à nu les trois branches du facial et les reséquai dans une longueur assez considérable pour ne pas craindre le rétablissement des fonctions de ce nerf : comme mes recherches antérieures sur plusieurs animaux de la même espèce m'avaient appris que l'excitation immédiate (1) de ses bouts libres ne donnait plus lieu à la moindre contraction des muscles de la face après le quatrième jour, tandis qu'immédiatement stimulés, ces muscles se contractaient encore, je résolus de laisser un laps de temps considérable entre cette dernière époque et le moment où, de nouveau, j'agirais avec des stimulants directement appliqués à la fibre musculaire.

Cette marche est bien préférable à celle que Haller et ses partisans avaient adoptée, dans le but de démontrer que l'irritabilité musculaire n'est point dépendante de la force nerveuse. En effet, ils arrachaient le cœur de la poitrine d'un animal vivant, ou bien ils coupaient un tronçon de chair, et les voyant palpiter pendant une ou plusieurs heures (selon l'espèce et l'âge de l'animal), ils en inféraient qu'à la fibre musculaire était inhérente une tendance à la contraction, indépendante de l'action des nerfs. Mais à ces expériences on peut faire une objection qui frappe leurs résultats de nullité : cette tendance à la contraction ne persiste qu'en vertu d'un reste de force nerveuse latente dans le nerf et la fibre musculaire elle-même.

Une pareille objection n'est plus applicable aux résultats suivants : Un nerf moteur (facial) (2) étant reséqué, les dernières ramifications de ses bouts libres sont galvanisées, *après le quatrième jour*, sans susciter, avons-nous dit, le moindre frémissement de la fibre musculaire : et néanmoins, *au bout de douze semaines*, celle-ci se contracte encore fortement sous l'influence du moindre stimulus qui lui est immédiatement appliqué (3).

Il est important de faire savoir que le facial n'avait point recouvré ses fonctions ; en effet, ni le clignement d'un côté, ni les mouvements de l'aile du nez, de la joue et de la lèvre correspondantes, n'avaient reparu, chez nos chiens, depuis le moment de l'opération.

Ainsi, pendant près de trois mois, l'influx nerveux moteur n'avait point été transmis aux muscles faciaux, qui néanmoins, avec leur irritabilité, avaient conservé leur coloration normale. Ce dernier fait ne permettrait-il pas de supposer que bien longtemps encore ces muscles seraient demeurés irritables ? C'est à peine si nous avons pu, après la mort, y découvrir de légères traces d'atrophie.

Puisque, si longtemps après l'extinction de toute force nerveuse motrice, la fibre charnue révèle encore son irritabilité, sous une influence même purement mécanique, *la décharge d'un agent impondérable partant des nerfs de mouvement n'est donc point nécessaire à la manifestation de cette propriété*, et le *stimulus* spécial, transmis par les nerfs de cette classe aux organes musculaires, n'est donc qu'une des nombreuses causes excitatrices de leur irritabilité.

(1) Galvanique, mécanique ou chimique.

(2) J'ai fait des essais analogues sur l'hypoglosse et les récurrents, avec des produits identiques.

(3) Le simple attouchement du muscle, à l'aide de la pointe d'un scalpel, suffit pour obtenir ces phénomènes de contraction.

Le fait que nos expériences viennent d'établir (1) est confirmé par de nombreuses observations de paralysie bornée, chez l'homme, aux fonctions locomotrices : en effet, n'est-il pas commun, dans les hémiplégies faciales par exemple, de voir les mouvements volontaires reparaître au bout d'un laps de temps considérable ? D'après ce qui précède, nous sommes autorisé à affirmer que, dans tous ces cas, la nutrition et l'irritabilité étaient restées à l'état presque normal dans les muscles qui n'étaient, pour ainsi parler, que dans l'attente de l'abord nouveau de la force motrice, pour recouvrer leur activité première et obéir derechef aux ordres de la volonté (2).

Mais, de ce que nous avons reconnu que l'irritabilité musculaire peut se manifester sans le concours des nerfs moteurs, s'ensuit-il qu'il faille conclure, d'une manière absolue, qu'elle est indépendante de l'action nerveuse en général? Il sera répondu plus loin à cette intéressante question.

3° *Les nerfs sensitifs influencent-ils l'irritabilité musculaire?* — Je dirai d'abord quels effets ont suivi la résection des nerfs *mixtes*, quels résultats j'ai obtenus après celle des nerfs exclusivement sensitifs.

Sur un chien, resèque-t-on le nerf sciatique, on constate (sans mentionner la perte consécutive de la sensibilité et des mouvements volontaires) qu'au bout de quinze jours la fibre charnue se contracte encore vivement sous l'action d'un stimulus immédiat; qu'après un mois, son aptitude à la contraction est encore assez prononcée, quoique bien moindre; et qu'enfin, vers la septième semaine, elle est à peine appréciable : mais, à dater de cette époque, les muscles de la jambe déjà décolorés semblent éprouver une sorte de dégénérescence, et bientôt ils cessent peu à peu de se contracter, même avec les stimulants immédiats les plus forts.

Sur d'autres chiens, ayant d'abord excisé une longueur assez considérable du nerf sous-orbitaire pour empêcher tout contact ultérieur des deux bouts, j'ai reséqué le buccal au-devant du masséter, et l'anastomose, au-devant de l'oreille, du nerf auriculo-temporal avec la branche moyenne de la septième paire. En agissant de la sorte, je me suis proposé de supprimer l'action de tous les filets du trifacial qui, d'un côté, pénètrent les muscles de la lèvre supérieure et de la narine correspondantes. Six semaines après l'opération, ceux-ci furent trouvés décolorés, et pourtant irritables, *mais à un degré beaucoup moins marqué que ceux du côté sain* (3). Du reste, les poils de la lèvre supérieure (côté malade) tombèrent, et celle-ci conserva un léger empâtement dû évidemment à un trouble de nutrition, quoique l'artère sous-orbitaire eût été ménagée.

Si maintenant nous considérons que, *six semaines* après la suppression des nerfs de sentiment, l'irritabilité musculaire est notablement diminuée, tandis que, *trois mois* après la suppression des nerfs du mouvement, elle demeure intacte, il nous semblera rationnel de conclure que cette propriété, indépendante des uns, *paraît* subordonnée aux autres dans certaines limites que nous allons tracer.

(1) Voyez, pour plus de détails, notre Mémoire cité plus haut.

(2) Toutefois, comme le mouvement, en activant la circulation, influe sur la sécrétion du principe fibrineux des muscles, puisque ceux-là acquièrent le plus de force et de volume, qui sont le plus exercés ; on conçoit que, condamnés à une entière inaction pendant un temps très long, ils puissent finir par s'atrophier et se réduire à des lames très minces qui, plus tard encore, *en dégénérant*, *perdraient* leur contractilité.

(3) Nous eûmes souvent l'occasion de nous assurer que la sensibilité n'était point revenue dans les parties.

On sait que les artérioles, en général, sont enlacées par des ramuscules nerveux d'autant plus considérables proportionnellement qu'elles sont plus petites, et cette disposition a sans doute une grande importance physiologique. En effet, à l'extrémité capillaire des vaisseaux, l'influence nerveuse est incontestablement nécessaire : là, tendent à se confondre et le sang et les tissus auxquels ce sang se distribue; au point de contact, il y a fusion de nature, il n'est plus de limite entre le fluide organisateur et ses produits; là, une nutrition, des sécrétions s'opèrent, et des phénomènes aussi importants ne sauraient se produire complétement sans l'influence nerveuse. On comprend donc qu'en supprimant cette influence, pour ne parler ici que de l'appareil musculaire, on occasionne une lésion de nutrition dont les effets se prononcent peu à peu et s'annoncent d'abord par la décoloration de la fibre charnue; puis, qu'avec le temps, celle-ci, perdant peu à peu ses caractères organiques, finisse par perdre aussi sa propriété essentielle, l'*irritabilité*. Si, pour la conserver, il faut encore, comme l'expérience le démontre, que le muscle participe à la circulation, cela revient à dire qu'il demeure irritable à la condition d'être vivant, ce qui ne doit ni surprendre, ni empêcher de voir dans l'irritabilité une force inhérente à la fibre musculaire pénétrée de la vie.

4° Si une réaction nerveuse sur le système capillaire sanguin est indispensable pour vivifier le tissu musculaire comme tous les autres, cette réaction est-elle réellement confiée, comme nous venons de le supposer, aux ramifications terminales des nerfs de sentiment, ou bien à une classe spéciale de fibres nerveuses décrites, dans ces derniers temps, sous le nom de *fibres grises* ou *organiques?*

Ces fibres spéciales qui, d'après divers auteurs, présideraient aux actes de nutrition et de sécrétion, s'allient surtout aux nerfs de sensibilité, comme la cinquième paire, les racines spinales postérieures, etc.; d'où l'impossibilité dans laquelle on se trouve de diviser les unes sans les autres. Mais il arrive parfois que les maladies semblent isoler, surtout dans le nerf trijumeau, les fonctions des fibres sensitives de celles qu'on attribue aux fibres organiques, puisque, dans les observations assez nombreuses de lésion de ce nerf, on constate qu'il y a eu tantôt perte de la sensibilité générale seulement, et tantôt à la fois perte du sentiment et trouble notable dans la nutrition de toutes les parties de la face, y compris les muscles.

Il serait donc possible que les *nerfs sensitifs n'eussent aucune influence directe sur l'entretien de l'irritabilité musculaire* qui, comme propriété inhérente aux muscles vivants, dépendrait de l'abord du sang artériel et de la réaction vivifiante des *nerfs* dits *organiques* (1).

(1) L'existence du *courant électrique musculaire* une fois démontrée, on a avancé que, dans ce courant, la fonction des nerfs se réduit à celle d'un conducteur imparfait qui représente l'état électrique de la partie du muscle, intérieur ou surface, de laquelle il est le plus rapproché. Mais cette assertion ne pouvait être admise sans restriction par le physiologiste ; car, assurément, il lui était bien permis de supposer que le système nerveux, tout en ne concourant pas directement à la production de l'électricité dans les muscles, devait néanmoins, en tant que nécessaire à l'accomplissement de tout acte de nutrition, recouvrer son importance : c'est ce dont j'ai pu m'assurer par des expériences directes établissant une étroite connexité entre les conditions qui permettent ou suspendent l'irritabilité des muscles et le développement d'électricité dans leur tissu. Ainsi, j'ai reconnu que, malgré la suppression absolue du concours des nerfs moteurs, suppression prolongée au delà de douze semaines, les signes du courant musculaire persistent et avec eux l'irritabilité. Mais est-ce à dire qu'une réaction nerveuse d'un autre ordre ne soit point nécessaire pour entretenir ces manifestations? Déjà, ai-je dit, six semaines après la section de nerfs mixtes, c'est-à-dire composés de fibres *motrices, sensitives et organiques*, j'ai vu le tissu musculaire se décolorer, puis perdre peu à

5° *L'irritabilité persiste-t-elle dans les muscles paralysés des mouvements volontaires?* Tous les pathologistes qui ont discuté la question de savoir si les muscles paralysés des membres et autres parties conservent ou non leur irritabilité, ont évidemment négligé la distinction nécessitée désormais par nos expériences ; c'est-à-dire que, confondant tous les cas de paralysie, ils n'ont point, pour résoudre le problème, séparé les faits dans lesquels le mouvement volontaire seul était supprimé, de ceux dans lesquels mouvement, sensibilité et nutrition musculaire étaient à la fois intéressés. La plupart des auteurs ne prennent même pas le soin d'indiquer toujours combien de temps après l'attaque de paralysie ils ont eu l'occasion d'examiner l'état de la fibre musculaire. Prochaska, Nysten, Legallois, Brodie, Wilson, etc., avancent que l'irritabilité continue d'exister dans les muscles, qui ne se contractent plus volontairement, tandis que J. Müller et Sticker affirment le contraire.

Nysten (1), rapportant plusieurs expériences qu'il fit sur des cadavres humains, s'exprime ainsi : « Chez deux malades qui avaient succombé *au bout de quelques jours*, l'un à la première et l'autre à la seconde attaque d'apoplexie, le galvanisme a déterminé des contractions aussi fortes dans les muscles du côté sain que dans ceux du côté paralysé. »

Que le mouvement seul ait été affecté, ou même que le mouvement, la sensibilité et la nutrition des muscles aient été compromis chez ces malades, leurs observations ne sauraient nous surprendre, puisque, dans la première hypothèse, nos expériences montrent des muscles qui, privés pendant trois mois de tout influx nerveux moteur, demeurent irritables, et que, dans la seconde, il faut plusieurs semaines pour qu'ils perdent, avec leurs caractères organiques, leur propriété essentielle, l'irritabilité : or, dans ces cas, il n'est question que de jours, et, par conséquent, celle-ci a dû persister.

Legallois (2) dit, en faisant allusion aux recherches de Nysten : « Elles ont montré que, dans les paralysies les plus complètes, l'irritabilité se conserve dans les membres paralysés tout aussi bien que dans ceux qui ne le sont pas. J'ai obtenu un résultat semblable d'une expérience que j'ai souvent répétée. Elle consiste à détruire la moelle lombaire dans un lapin âgé de moins de dix jours ; il faut le choisir de cet âge pour que la circulation ne soit pas arrêtée et qu'il puisse continuer de vivre. Quoique, dans cette expérience, le train de derrière soit frappé de mort et que ses nerfs ne puissent plus recevoir aucune influence de la moelle épinière, l'*irritabilité s'y conserve.* »

Bien que Legallois n'ait point indiqué la durée de la vie chez les animaux qui avaient subi cette grave mutilation de la moelle, nos propres expériences nous ont appris qu'ils n'avaient pas dû survivre au delà de quelques heures. Nous appliquerons donc à ces résultats les mêmes réflexions que nous avaient suggérées les observations de Nysten, en faisant remarquer que ces réflexions sont encore applicables aux expériences suivantes de Prochaska (3) :

peu ses caractères organiques, et plus tard sa propriété essentielle, l'irritabilité ; alors aussi, toute trace de courant avait disparu.

L'irritabilité et le courant musculaires sont donc subordonnés, dans certaines limites, à une même condition, la nutrition normale des muscles, qui ne saurait elle-même se dérober à l'influence d'une portion spéciale et imparfaitement déterminée du système nerveux.

(1) *Rech. physiol.*, 1811, p. 369.

(2) *Œuvres compl.*, édit. 1830, p. 24.

(3) *Opera minora*, etc., p. 84. Vienne, 1800.

« Vis nervosa, dit-il, quæ in nervis a commercio cum cerebro separatis superest non unâ alterâve musculi contractione, quam irritati cient, exhauritur, sed millenis planè convulsionibus excitatis par est; quod expertus sum in ranâ, cui medullam spinalem in dorso *abscidi*. Supervixit huic vulneri *aliquot diebus;* interim irritando medullæ spinalis partem eam quæ erat infrà sectionem, convulsiones in artubus inferioribus excitavi, toto tempore quo supervixit, planè innumeras, neque extremitates inferiores priùs mortuæ sunt, quàm tota rana. Deinquod vis nervosa in nervis diù persistere possit citrà cerebri auxilium, probare videntur musculi paralytici, in quorum nervis, ob compressionem aliquam præternaturalem, totum commercium cum cerebro sublatum est; nihilominùs tamen a stimulo electricæ scintillæ *longo jam tempore* paralytici musculi convelluntur. » Ainsi Prochaska se borne à *diviser* la moelle au lieu de la *détruire*, comme le fit plus tard Legallois, et cette seule remarque autorise à révoquer en doute la valeur des assertions émises dans ce passage : en effet, quelles preuves avons-nous qu'après la section simple de la moelle épinière, une partie de la force nerveuse ne s'est point transmise encore d'un bout spinal à l'autre ?

J. Müller et Sticker (1) entreprirent, en 1834, quelques expériences desquelles ils tirèrent des conclusions tout à fait opposées à l'opinion de ces physiologistes. Ainsi, selon eux, l'irritabilité ne se conserve point dans les muscles des membres paralysés.

Ces apparentes contradictions sont faciles à expliquer en notant les circonstances différentes dans lesquelles se sont placés les expérimentateurs. En effet, pour reconnaître l'état de la fibre musculaire privée de ses relations avec le système nerveux, les uns expérimentent seulement après quelques heures ou plusieurs jours, tandis que les autres se livrent à leurs investigations au bout de plusieurs semaines ou même de plusieurs mois : en se rappelant les résultats que nous avons obtenus plus haut, il est évident que, sans peine, on se rend compte de cette divergence d'opinions ; rappelons encore que ces mêmes résultats exigent des pathologistes qu'*indépendamment de l'époque exacte de l'expérience*, ils notent la distinction des espèces de paralysie comme propre à expliquer tantôt la persistance et tantôt l'abolition de l'irritabilité dans les muscles paralysés.

Marshall Hall (2), frappé aussi des contradictions qui viennent d'être signalées, n'en a pas donné une explication aussi simple que la nôtre. Ce physiologiste ingénieux a fait quelques expériences et cité plusieurs observations pathologiques « dans le but, dit-il, de faire cesser une contradiction qui, pour l'honneur de la science, ne devrait pas exister. » Sur six grenouilles, *il coupe* la moelle épinière au-dessous de l'origine du plexus brachial et *resèque* une portion du nerf sciatique *droit ;* puis il constate, soit immédiatement, soit quelques semaines après, les phénomènes qui suivent :

« 1° Les extrémités antérieures seules éprouvèrent un mouvement spontané ; les deux extrémités inférieures restaient complétement immobiles lorsque l'animal, placé sur le dos, faisait d'inutiles efforts pour se retourner sur le ventre ;

» 2° Quoique entièrement paralysée du mouvement spontané, l'extrémité postérieure *gauche* (celle qui était encore en rapport avec la moelle épinière) s'agitait

(1) *Archives de J. Müller*, 1834, p. 202 ; et *Physiol. du syst. nerv.*, par le même. Trad. de Jourdan, 1840, t. I, p. 69.

(2) *Memoirs on some principles of pathology of the nervous system*. London, 1839. Trad. *dans les Arch. génér. de méd.*, janvier 1840.

énergiquement lorsqu'on touchait les orteils de ce côté avec la pince à disséquer ;

» 3° L'extrémité postérieure *droite* (celle du côté de laquelle on avait réséqué le nerf sciatique) était entièrement paralysée et ne présentait de mouvement ni spontanément, ni sous l'influence d'un stimulus ;

» 4° Quelques semaines après l'expérience, *lorsque l'irritabilité musculaire de l'extrémité postérieure gauche se fut graduellement augmentée*, l'irritabilité musculaire de l'extrémité droite avait graduellement diminué. Ces phénomènes ont été observés l'animal étant dans l'eau, au travers de laquelle nous fîmes passer avec beaucoup de précaution un léger courant galvanique. »

Ayant eu l'occasion de m'entretenir avec Marshall Hall de ces expériences que déjà, à plusieurs reprises, j'avais répétées dans mes leçons, je dus lui faire l'aveu, dans le but de m'éclairer, qu'ayant facilement obtenu quelques uns de leurs résultats, je n'avais pas été assez heureux pour les reproduire tous. Ainsi, après la division de la moelle dorsale et la résection du nerf sciatique droit, par exemple, assurément il m'a été facile de constater, indépendamment de la suppression des mouvements volontaires dans les deux membres abdominaux, que le gauche s'agitait énergiquement, quand on pinçait ou brûlait ses téguments, tandis que le droit n'offrait rien de pareil ; mais ce n'est là qu'un effet incontestable *de l'action réflexe* de la moelle épinière. *Quant à l'augmentation graduelle de l'irritabilité musculaire dans l'extrémité postérieure gauche*, augmentation qui aurait lieu seulement au bout de *quelques semaines* (1), je n'ai pu m'en assurer, par la raison simple que mes grenouilles mutilées n'ont jamais survécu au delà de quelques jours, ainsi que nous avons vu aussi Prochaska le noter dans ses expériences.

Quoi qu'il en soit, Marshall Hall fait remarquer plus loin « que les muscles du membre droit, paralysé par suite de sa séparation d'avec le cerveau et la moelle épinière, finirent par perdre leur irritabilité, tandis que les muscles du membre gauche, dont les communications n'avaient été interrompues qu'avec le cerveau, pour laisser intacts ses rapports avec la moelle, non seulement ne perdirent pas leur irritabilité, mais encore la conservèrent *très probablement* avec un surcroît d'énergie. » Cet observateur rapporte ensuite plusieurs faits pathologiques qu'il considère comme ayant de l'analogie avec ces données expérimentales, et qui l'ont engagé à formuler ainsi sa principale conclusion : « La moelle épinière, à l'exclusion du cerveau, est la source spéciale dans laquelle les nerfs puisent l'excitabilité des contractions musculaires et les muscles leur irritabilité ; le cerveau, par cela seul qu'il est le siége des volitions, absorbe l'irritabilité musculaire. Aussi pouvons-nous porter un diagnostic certain entre la *paralysie cérébrale* et la *paralysie spinale :* la première se reconnaît à l'augmentation de l'irritabilité, tandis que la seconde est celle dans laquelle l'irritabilité est diminuée. »

Si les précédentes assertions ont rencontré des contradicteurs, cela dépendrait-il, selon la remarque de Marshall Hall, de ce que dans les cas observés par d'autres, la paralysie du mouvement aurait été trop incomplète ou trop ancienne ? Toujours est-il que ce physiologiste croit que ses expériences et ses observations sont propres à détruire toutes les prétendues contradictions qui existent entre les auteurs ; en d'autres termes, il pense que ceux qui ont signalé la persistance de l'irritabilité dans les muscles paralysés du mouvement volontaire, ont eu affaire à des cas dans

(1) Dans notre entretien, Marshall Hall détermina une époque plus précise, en assignant le terme de six semaines.

lesquels leurs communications étaient interrompues avec le cerveau seulement, tandis que ceux qui ont avancé que l'irritabilité cesse dans les muscles atteints de paralysie, ont eu sous les yeux des cas d'interruption de toute relation du muscle avec l'axe cérébro-spinal.

Au contraire, nos recherches démontrant que l'irritabilité, assez promptement diminuée par la suppression des nerfs sensitivo-organiques, persiste malgré celle des nerfs moteurs, nous rapportons ces dissidences d'opinions : 1° aux différences d'époques auxquelles on a directement expérimenté sur la fibre musculaire; 2° au défaut de distinction entre les cas où le mouvement seul avait disparu, et ceux qui offraient une lésion simultanée du mouvement, de la sensibilité et de la nutrition musculaires.

Quant aux expériences relatées plus haut, dans lesquelles Marshall-Hall a vu des grenouilles survivre au moins six semaines, nous donnons de ces expériences une interprétation tout à fait différente de la sienne, et nullement propre à légitimer les conclusions qu'il a émises. Imitant Prochaska, cet expérimentateur *coupe* seulement la moelle épinière au lieu de la *détruire* partiellement à l'exemple de Lègallois, et de plus, sur le même animal, il *resèque* une portion du nerf sciatique droit : selon l'observateur anglais, *six semaines au moins* sont nécessaires pour que *l'irritabilité musculaire du membre postérieur gauche* (celui qui est encore en rapport avec la moelle) *s'augmente graduellement*, et pour qu'elle diminue dans le membre droit. Qui ne voit que d'une part, à cause du procédé expérimental qui laisse les deux bouts médullaires en contact, et d'autre part, surtout à cause du laps de temps exigé pour l'apparition des phénomènes, on est autorisé à affirmer que la transmission d'une partie de la force nerveuse a dû continuer ou au moins se rétablir du segment antérieur de la moelle, à travers le postérieur? Mais si cette transmission, trop imparfaite, est impropre au rétablissement des mouvements volontaires du membre gauche, on comprend que l'irritabilité musculaire puisse néanmoins s'y accroître par l'abord de l'influx nerveux qui, dans ce cas, *agit comme un stimulus de l'irritabilité dont l'intensité s'accroît pour deux raisons : 1° parce que cet influx nerveux n'est plus dépensé par les contractions volontaires; 2° parce qu'il est transmis presque en totalité au membre gauche*, le droit étant privé de son nerf sciatique.

Pour que les expériences de Marshall-Hall eussent été concluantes dans le sens qu'il indique, il aurait fallu qu'il ne se bornât point à *diviser*, mais qu'il *reséquât* la moelle. Or, j'ai pratiqué cette résection, dans la région dorsale, sur un grand nombre de grenouilles, et comme presque toutes sont mortes peu de jours après l'opération, on conçoit que je n'aie pas pu constater des phénomènes observables, selon ce physiologiste, seulement au bout de six semaines.

6° *Quelle est la durée de l'irritabilité :* a. *dans les muscles qui ne reçoivent plus de sang artériel*, b. *dans ceux dont la circulation veineuse est brusquement interrompue?*

a. Si, par la ligature d'une artère de médiocre calibre, il est impossible de suspendre à l'instant même, et à plus forte raison, ultérieurement, le cours du sang artériel dans des muscles déterminés, attendu que la circulation continue dans les capillaires à l'aide de nombreuses anastomoses, il n'en est pas de même, quand on applique la ligature sur un tronc aussi volumineux que celui de l'aorte abdominale. Quoique, même *encore après cette opération*, la circulation puisse se rétablir dans

les membres abdominaux, un certain laps de temps sera au moins nécessaire à la dilatation graduelle des voies collatérales que le sang devra parcourir (*artères mammaires internes, épigastriques, iléo-lombaires, lombaires, intercostales*, etc.), et ce laps de temps suffira pour étudier la manière d'être d'un muscle dans lequel il n'y a plus de circulation artérielle : aussi allons-nous voir que, dans ce but, de nombreux expérimentateurs ont lié, sur les animaux vivants, l'aorte ventrale. Mais il importe de faire observer qu'ayant reconnu, dans leurs expériences, la *paralysie des mouvements volontaires* du train postérieur, ils ne se sont nullement occupés (Haller lui-même) de l'*irritabilité*, qui, comme nous l'avons vu, peut néanmoins persister dans des muscles devenus tout à fait sourds aux ordres de la volonté (1).

Swammerdam (2) et Sténon (3) pratiquèrent, les premiers, la ligature du tronc aortique, dans l'intention de reconnaître ses effets sur le mouvement musculaire. Willis (4), en rapportant l'expérience de ce dernier, s'exprime ainsi : « Observavit ille quod in cane vivo, ligatâ aortâ descendente, sine præviâ sectione, posteriorum omnium motus voluntarius cessaret quoties vinculum stringebat, iterùmque tot vicibus rediret quoties nodum laxaret. »

Ils furent bientôt imités par J. Brunner et Vieussens. « Aortæ truncum, » dit Brunner (5), « accuratè ligavi..... canemque dimisi languidum : vix pedibus is constitit; mox anterioribus nixus, posteriores vix movere potuit, tandemque post se raptavit *resolutos*. Resolvi iterùm abdominis nexus et filum ab hinc, quo aorta constricta fuit; vulnus ab hinc abdominis denuò consui, canemque dimisi, qui sensim ad sese rediens, pedibus anterioribus constitit primò, mox posterioribus movit, tandemque iisdem constitit, et ut anteà incessit. »

Cette expérience fut faite à Paris, en 1673. Celle de Vieussens (6) date peut-être d'une époque un peu antérieure : « Canis abdomine aperto, si descendens aortæ truncus valido stringatur vinculo, protinùs subjectæ diaphragmati partes *paralysi* laborant, remotoque vinculo, atque adeò sanguini libero commeatu reddito, eædem partes sensum motumque recuperant. » Gaspard Bartholin (7), E. Kœnig (8), Bohn (9), Cowper (10), Courten (11), Astruc (12), Pascoli (13), Langrish (14), etc., obtinrent les mêmes résultats sans y rien ajouter.

Lecat (15), dans un ouvrage en partie consacré à réfuter la doctrine de Haller sur l'irritabilité, cite deux observations de ligature de l'aorte qu'il a pratiquée sur des chiens, et ne s'inquiète même pas de savoir, dans ces cas, quelles modifications aurait pu subir l'irritabilité musculaire : il dit seulement que le premier de ces

(1) Lorry et J. Ph. Kay ont seuls parlé de l'irritabilité des muscles après la ligature de l'aorte; mais ils sont arrivés à des résultats opposés, qui, d'ailleurs, comme je le prouverai plus loin, à cause des circonstances dans lesquelles ils ont été obtenus, ne sont nullement propres à résoudre la question qui fait l'objet de ce paragraphe.

(2) *Tractatus phys.-med. de respirat. et usu pulmonum*. Leyde. 1667, p. 62.

(3) *Biblioth. anat.* de Manget, t. II, *De motu musculari*.

(4) *Biblioth. anat.* de Manget, t. II, p. 556.

(5) *Experim. nova circa pancreas*. Leyde, 1722, in-18, p. 187.

(6) *Nevrographia universalis*. Lugduni, 1685, in-4, p. 247.

(7) *Epistol. ad Oligerum Jacobæum de nervorum usu in muscul. motu*. Paris, 1676, in-8.

(8) *Regn. anim.* Bâle, 1682, in-1, p. 170.

(9) *Circul. anatom. physiol.*, 1686, in-4, p. 102, 297, 398.

(10) Bidloi, *Introd. ad myolog.*, 1694, p. 11,

(11) *Philosoph. trans.*, n° 335.

(12) *Dissert. de motu muscul.*, *apud* Manget, *Bibl. anat.*

(13) *De homine*, p. 33.

(14) *De muscul. motu*, p. 17.

(15) *Traité du fluide des nerfs et du mouvement musculaire*. Berlin, 1765, in-8, p. 9 et suiv.

animaux devint paralytique au bout de sept à huit minutes, et le second, au bout de vingt minutes; que, d'ailleurs, chez tous les deux, la ligature avait embrassé l'aorte et la veine cave. Lecat ajoute : « Ces deux expériences confirment donc celles de Sténon et de Vieussens, sur la nécessité du concours du sang artériel au mouvement musculaire. »

Lorry (1) qui, à propos de l'irritabilité, se rangea aussi au nombre des antagonistes de Haller, seul, eut l'idée de rechercher si elle se conservait ou non dans les muscles qui ne reçoivent plus de sang artériel : « Après la ligature faite, dit-il, j'ai découvert un muscle et je l'ai irrité; alors il s'est excité dans ce muscle, que le défaut de sang faisait blanchir, une vive contraction pareille à celle qui s'y excite ordinairement, quand on jette dessus un irritant.... La propriété de se contracter subsista, sans aucune diminution, pendant plus d'une *demi-heure* que dura l'expérience. » Du reste, peu de minutes avaient suffi pour que les *mouvements volontaires* eussent cessé dans les deux membres abdominaux.

Si Lorry, au lieu d'agir tout de suite sur la fibre musculaire, eut attendu plus longtemps pour y appliquer un stimulus, nul doute qu'il n'eût obtenu les résultats contraires que j'exposerai plus loin.

Haller (2) ayant lié, sur un chat, l'aorte au-dessous des reins, vit « l'animal perdre l'usage des jambes et ne plus pouvoir se soutenir sur elles. Celui-ci les attirait avec une espèce de convulsion, apparemment par le moyen du psoas...., etc. » Nul essai sur l'irritabilité.

« Sténon a observé, dit Bichat (3), et j'ai toujours vu qu'en liant l'artère aorte au-dessus de sa bifurcation, la paralysie des membres inférieurs survient *tout à coup*..... Non seulement il faut que, pour obéir à l'influence cérébrale, le muscle reçoive le choc du sang, mais encore du sang rouge, du sang artériel. » « Injectez, en effet, dans l'artère crurale d'un animal du sang pris dans une de ses veines, vous verrez bientôt ses mouvements s'affaiblir d'une manière sensible, quelquefois même une paralysie momentanée survenir. » Bichat accorde donc ici une sorte d'influence stupéfiante au sang veineux.

Ségalas (4) et J.-Ph. Kay (5) ont combattu l'opinion de Bichat. Selon le premier de ces expérimentateurs, « qu'on lie simultanément à la même hauteur, immédiatement au-dessus de leur bifurcation, l'artère aorte et la veine cave, l'animal, placé dans les mêmes circonstances qu'après la ligature isolée de l'aorte, conservera le mouvement des extrémités postérieures au moins une fois plus de temps, seize, vingt minutes et plus. Ce qui semble annoncer deux choses, et en prouver au moins une, savoir : que la suppression de la circulation veineuse retarde la perte des qualités stimulantes du sang rouge, et que le sang veineux, au lieu d'être stupéfiant, comme on l'a dit, est seulement moins excitant que le sang artériel. » Quant aux expériences du docteur J.-Ph. Kay, elles sont faites, en partie, dans le but de démontrer que, *si la contractilité d'un muscle a été anéantie par la ligature d'une artère, la transfusion du sang peut la rappeler*, que ce sang soit artériel ou veineux (expér. 12 et suiv.) : ce physiologiste en conclut « que Bichat

(1) *Recueil périod. d'obs.*, etc., par Vandermonde, janvier 1757, t. VI, p. 15 et 16.

(2) *Mém. sur le mouvement du sang*. Trad. Lausanne, 1756, in-18, p. 203, exp. 52.

(3) *Anat. génér.*, p. 279, t. II, éd. 1812. — Voy. aussi les *Recherches* physiol. sur la vie et la mort.

(4) *Journ. de physiol. expérim.*, t. IV, 1824, p. 288.

(5) *Journ. des progrès*, vol. X, 1828, p. 67, et vol. XI, p. 18.

avait émis une opinion sans fondement, quand il avait comparé l'action du sang veineux sur les muscles volontaires à celle exercée par les substances stupéfiantes. » Si, à l'exemple de Lorry, J.-Ph. Kay a expérimenté sur l'irritabilité musculaire, après la ligature de l'aorte ou de la veine cave, il est important de noter qu'il a fait un usage immodéré du galvanisme *immédiatement* après l'opération; aussi, en fatiguant, par des secousses électriques, la fibre musculaire, a-t-il vu cesser son irritabilité beaucoup plus tôt qu'elle ne disparaît spontanément.

Afin d'arriver à la solution exacte du problème que nous nous étions proposé, nous dûmes donc, dans nos expériences, éviter, comme on le verra, ces causes de perturbation et d'erreur.

Quant aux ligatures d'aorte qui ont été pratiquées, sur les animaux, par Astl. Cooper (1), P. Bérard (2), Pinel Grand-Champ (3), Scoutteten (4), etc., elles ont été faites surtout dans un but chirurgical, et n'ont point une application immédiate à la question qui nous occupe. Plusieurs de ces observations sont remarquables en ce sens que la circulation s'est rétablie dans les membres postérieurs, et que les animaux ont pu continuer à vivre.

Sur cinq chiens, j'ai lié l'aorte abdominale : à peu près au bout d'un quart d'heure, les membres abdominaux ont été complétement paralysés du mouvement volontaire, tandis que l'*irritabilité* a persisté deux heures un quart (durée moyenne) *dans les muscles de la jambe.*

Plusieurs particularités de ces expériences méritent d'être mentionnées, parce qu'elles expliquent les légères différences dans les produits : ainsi, chez les trois premiers chiens, la ligature de l'aorte *seule* fut faite au-dessous de la mésentérique inférieure; chez le quatrième, entre les deux mésentériques; et enfin, sur le cinquième, la ligature avait embrassé l'aorte et la veine cave, immédiatement au-dessus de leur bifurcation. Dans les trois premiers cas, deux heures après l'opération, les muscles de la jambe perdirent complétement leur irritabilité; dans le quatrième celle-ci nous parut s'y maintenir, à la vérité, d'une manière peu sensible, et dans le cinquième cas, les mêmes muscles restèrent irritables pendant plus de deux heures et demie (5).

C'est avec intention que j'ai appliqué les stimulants immédiats, non aux muscles de la fesse ou même de la cuisse, mais à ceux de la jambe. En effet, les muscles des premières parties conservent presque constamment une aptitude légère à la contraction, la surface de leur incision offre une teinte encore assez rouge et un peu de sang artériel continue de s'en écouler; tandis que les muscles non irritables de la jambe, quoique incisés, ne donnent point lieu à un semblable écoulement, et, au contraire, présentent une notable décoloration. D'où provient cette différence? Assurément de ce que les premiers reçoivent encore dans leur épaisseur les ramifications terminales de quelques artères intercostales inférieures et surtout des lombaires. Il nous fallait donc signaler cette particularité, d'ailleurs suffisante pour donner lieu, plus tard, à d'apparentes contradictions.

(1) *Surgical essays.* London, 1818, et dans la trad. de Chassaignac et Richelot, p. 542.
(2) *Dict. de méd.* en 25 vol., t. III, p. 426.
(3) *Médecine opérat.* de Velpeau, p. 171, 2e édit., 1839.
(4) *Arch. génér. de méd.*, t. XIII, p. 505.
(5) Quoique ce dernier résultat s'accorde avec ceux que Ségalas et Ph. Kay ont déjà fait connaître, j'ai besoin de reproduire encore cette expérience pour avoir une conviction.

Quant à la quatrième expérience, dans laquelle même les muscles de la jambe ont paru demeurer *légèrement* irritables, je ferai observer que j'avais ici, en appliquant la ligature entre les deux artères mésentériques, laissé une voie de plus que dans les autres expériences, au rétablissement de la circulation dans les membres postérieurs : les larges anastomoses qui font communiquer la colique droite supérieure, division de la mésentérique supérieure, avec la colique gauche supérieure, division de la mésentérique inférieure, ont dû, en effet, ramener par cette dernière un peu de sang dans l'aorte, au-dessous de la ligature ; ce qui explique comment ce peu de sang artériel ayant continué de circuler dans les muscles des membres abdominaux, quelques traces d'irritabilité ont pu s'y conserver (1).

Afin de reconnaître l'état de l'irritabilité dans les muscles privés de circulation artérielle, j'ai fait le plus souvent usage des simples irritants mécaniques (pointe d'un scalpel, etc.), et ce n'est que quand ces moyens n'ont plus produit aucune réaction de la part de la fibre musculaire, que j'ai eu recours à l'électricité qui, lui étant appliquée d'une manière immédiate, assez souvent ne l'a pas plus longtemps fait osciller que les irritants ordinaires.

Dans toutes ces expériences, la sensibilité des téguments qui recouvrent les membres abdominaux a été diminuée, mais n'a jamais été abolie : le pincement du nerf sciatique et de ses branches m'a paru à peu près aussi douloureux que dans l'état normal.

Mais, voyant la fibre musculaire ne pas répondre aux excitations immédiates, j'ai voulu savoir si, en agissant sur le nerf sciatique, des contractions auraient lieu, et jamais l'électricité appliquée, même à ses ramuscules, ne détermina le moindre frémissement musculaire. Cependant ce nerf transmettait encore les impressions, de plus il communiquait encore avec l'axe cérébro-spinal et conséquemment il devait être chargé de force nerveuse motrice, qui seulement ne se révélait plus par des contractions, parce qu'elle s'exerçait sur des muscles privés de la vie (2).

L'expérience dans laquelle j'ai vainement électrisé le nerf sciatique vient donc confirmer les autres expériences que j'ai faites pour démontrer que l'irritabilité des muscles est indépendante de la force nerveuse *motrice*, puisque, sans elle, nous avons vu l'irritabilité persister, et que malgré l'application de cette force à la fibre musculaire, celle-ci a pu cesser d'être irritable. Le sang artériel est donc, au contraire, indispensable à l'*entretien* de l'irritabilité musculaire ; de plus, comme nous l'avons établi ailleurs, il faut le concours de certains nerfs sensitifs ou organiques : mais qu'on veuille bien remarquer que ces deux conditions sont nécessaires, non parce qu'elles donnent ou communiquent au muscle une force qui, au contraire,

(1) L'explication que nous venons de donner nous paraît d'autant plus admissible que, dans la crainte de n'avoir pas étreint suffisamment le tronc aortique à l'aide d'une première ligature, nous en appliquâmes une seconde à la même hauteur. — Parmi les chirurgiens, les uns veulent que, chez l'homme, il y ait avantage à lier l'aorte abdominale entre les deux mésentériques, parce qu'alors le rétablissement du cours du sang dans les membres inférieurs serait plus facile ; les autres pensent qu'un semblable procédé pourrait compromettre le succès de l'opération, à cause de l'abord trop abondant du sang qui reviendrait dans l'aorte, *au-dessous de la ligature*. Notre expérience démontre qu'*au moins chez le chien* le sang qui arrive alors au-dessous de celle-ci est en très minime quantité.

(2) Avec le temps, si néanmoins *la circulation* ne se rétablissait point, on comprendrait que l'excitabilité du *nerf (quoique lié à l'axe cérébro-spinal)* s'éteignît par suite de la modification des *parties et du nerf lui-même*.

lui est inhérente, mais bien seulement parce qu'elles y entretiennent la nutrition, sans laquelle toute propriété vitale doit disparaître d'un organe quelconque.

Après trois ou quatre heures, délie-t-on l'aorte, l'irritabilité se rétablit la première en peu de minutes, et les mouvements volontaires renaissent ensuite au bout d'un temps plus long (1) : on a vu qu'au contraire, après la ligature du tronc aortique, les mouvements volontaires disparaissent les premiers, tandis que l'irritabilité persiste encore longtemps après eux.

b. Dans mes expériences, la suppression de la circulation veineuse n'a point exercé une fâcheuse influence sur l'irritabilité de la fibre charnue. Chez des chiens qui avaient survécu *vingt-six heures* à la ligature de la veine cave inférieure, immédiatement au-dessus de sa bifurcation, les muscles des extrémités postérieures (même ceux de la jambe) sont demeurés, jusqu'à la mort, presque aussi irritables que ceux des autres parties du corps. Quant aux mouvements volontaires de ces extrémités, ils étaient à peine gênés par un œdème commençant ; la sensibilité y était conservée et le nerf sciatique électrisé provoquait des contractions énergiques.

Ce qui suit est le résumé de ce que je crois avoir établi expérimentalement dans les pages qui précèdent :

1° Séparé de l'axe cérébro-spinal, un nerf *moteur* perd, après le *quatrième jour*, toute excitabilité : alors, applique-t-on aux bouts libres de ce nerf ou de ses divisions les irritants mécaniques, chimiques ou électriques, la fibre musculaire demeure immobile.

2° Au contraire, un muscle dont le nerf moteur n'est plus excitable, *même depuis plus de douze semaines*, oscille d'une manière très apparente, quand on lui applique un stimulant immédiat quelconque.

3° Puisque, si longtemps après l'extinction de toute force nerveuse motrice, la fibre charnue manifeste encore son irritabilité, sous une influence même purement mécanique, la décharge d'un agent impondérable, partant des nerfs de mouvement, n'est donc point nécessaire à la manifestation de cette propriété, et le stimulus spécial, transmis par les nerfs de cette classe, aux organes musculaires, n'est donc qu'une des nombreuses causes excitatrices de leur irritabilité.

4° Il n'est pas besoin, comme on l'avait avancé, qu'une excitation immédiate des muscles, propre à les faire contracter, agisse d'abord sur les nerfs, et la contraction n'est point la conséquence de cette action primitive.

5° Parce que l'irritabilité musculaire persiste sans le concours de nerfs moteurs, il n'est pas à dire qu'une réaction nerveuse d'un autre ordre ne soit point nécessaire à son entretien : nous avons démontré et expliqué le mode d'influence du système nerveux sur la conservation de l'irritabilité.

6° Les ligatures que nous avons pratiquées sur l'aorte abdominale des animaux nous ont fait connaître que, dans les muscles qui ne reçoivent plus de sang artériel, les mouvements volontaires n'existent plus *au bout d'un quart d'heure*, tandis que l'irritabilité subsiste, en général, au moins *pendant deux heures ;* que si, de nouveau, on permet l'abord du sang artériel, l'irritabilité reparaît en peu de minutes, et le mouvement volontaire se rétablit plus tard.

(1) Vingt minutes ou une demi-heure.

7° Chez les chiens, *vingt-six heures* après la ligature de la veine cave inférieure, immédiatement au-dessus de sa bifurcation, l'irritabilité des muscles des membres abdominaux n'est pas sensiblement modifiée, et leurs mouvements volontaires ne subissent qu'une médiocre diminution.

Conclusion générale. — L'*irritabilité* est une force inhérente *aux muscles vivants ;* si, quoique assurément indépendante des nerfs moteurs, l'irritabilité musculaire réclame, pour son entretien, le concours d'un autre ordre de nerfs (*sensitifs ou organiques*) et celui du sang artériel, nous espérons avoir établi que ces deux conditions sont nécessaires, non pour donner ou communiquer aux muscles la force ou la propriété dont il s'agit, *mais seulement pour y entretenir la nutrition, sans laquelle toute propriété vitale disparaît d'un organe quelconque.*

Caractères généraux et différentiels des mouvements musculaires.

I. Les mouvements produits par la contraction musculaire sont tantôt *simples* et tantôt *composés.*

Les *mouvements simples* ont pour agents des muscles dont la direction est droite ou réfléchie, ou bien des muscles dont les fibres décrivent des cercles complets.

1° Dans les muscles dont la direction est droite et dont la forme est allongée, chacune des fibres agit séparément ; toutes ces forces partielles s'ajoutent pour se concentrer sur le tendon de terminaison, qui, à son tour, transmet le mouvement au levier osseux sur lequel il est implanté. Dans les muscles larges, l'action est répartie sur un plus ou moins grand nombre de points, et comme les diverses insertions musculaires se font suivant des lignes dont la longueur et la direction sont variables, il en résulte des mouvements différents selon que le muscle agit par l'une ou l'autre de ses parties.

Deux exemples pris dans le système locomoteur des membres et du tronc suffiront pour faire comprendre ces principes : *a.* Le muscle brachial antérieur s'insère, d'une part, à une portion des faces externe et interne de l'humérus, de l'autre à l'apophyse coronoïde du cubitus. Toutes les fibres qui entrent dans sa constitution concentrent leur action sur l'aponévrose tendineuse qui le termine et conséquemment sur l'apophyse coronoïde du cubitus. La contraction du muscle aura donc pour effet de rapprocher le cubitus de l'humérus, et, comme ces deux os s'articulent par ginglyme, le cubitus exécutera un mouvement qui aura pour centre le coude et pour rayon la longueur de l'avant-bras ; ce dernier sera ainsi fléchi sur le bras. *b.* Admettons maintenant que ce soit le trapèze qui se contracte, en prenant son point fixe sur la série des apophyses épineuses cervico-dorsales auxquelles il s'insère : les attaches mobiles se faisant d'une autre part à toute la longueur de l'épine du scapulum, et le muscle lui-même étant composé de fibres dont la direction est différente, il en résulte un effet variable selon que les fibres supérieures ou descendantes, moyennes ou horizontales, inférieures ou ascendantes, se contractent. Enfin, si c'est le trapèze entier qui agit, le scapulum sera mû suivant une résultante de toutes les forces mises en jeu.

2° Dans les muscles *dont la direction* est réfléchie, leur action doit être estimée à *partir du point de la réflexion.* C'est de cette manière qu'on peut se rendre

compte de l'effet produit par la contraction des muscles grand oblique de l'œil, péristaphylin externe, péroniers latéraux, etc.

3° Les muscles qui sont formés de fibres décrivant des cercles complets, tels que l'orbiculaire des paupières ou des lèvres, le sphincter de l'anus ou de la vulve, sont destinés à rétrécir l'ouverture autour de laquelle ils sont groupés.

Quelques uns des muscles de l'économie ont une manière spéciale d'agir, comme ceux qui sont larges et qui limitent certaines cavités. Je citerai pour exemple le buccinateur : la distension des joues, soit par le fait de l'accumulation du bol alimentaire entre elles et les arcades dentaires, soit par l'accumulation de l'air expiré dans la bouche, rend courbes les fibres de ce muscle, et leur contraction a pour résultat de les redresser, maintenues qu'elles sont de chaque côté par des insertions immobiles aux deux os maxillaires.

Les *mouvements composés* sont ceux qui résultent de l'action simultanée de plusieurs muscles. Dans ce cas, la partie en rapport avec les organes qui se contractent se meut dans la direction de la résultante des mouvements qui lui seraient imprimés par chacun des muscles agissant séparément. Ainsi, lorsque les muscles droits supérieur et externe de l'œil fonctionnent, ils portent le globe oculaire en haut et en dehors.

Lorsque deux muscles, dont la direction est tout à fait opposée et dont la force est la même, se contractent, l'organe auquel ils s'insèrent reste immobile. Quand deux muscles, à direction et à insertion identiques, se contractent, il y a addition de forces, l'action de l'un des muscles s'ajoutant à l'action de l'autre.

De là, la distinction des muscles en muscles *antagonistes* et en muscles *congénères*.

Il peut encore arriver que deux muscles soient en partie opposés, en partie dirigés dans le même sens ; on comprend qu'alors une portion des forces est détruite et que l'autre seule subsiste. C'est ce qui se passe dans la contraction des sterno-cléido-mastoïdiens, lorsque ceux-ci prennent leur point fixe sur le sternum et la clavicule, et leur point mobile sur le temporal. Si les deux muscles se contractent simultanément, les effets produits pour la flexion s'ajoutent, et ceux qui sont produits pour le mouvement de rotation se détruisent. C'est ce que l'on exprime en disant que ces muscles sont, à la fois, antagonistes dans un sens et congénères dans l'autre.

Les muscles intérieurs peuvent présenter, comme les muscles extérieurs, des fibres dont les unes ont une action congénère, les autres une action antagoniste. Les deux couches musculaires de l'intestin, l'une longitudinale, l'autre circulaire, offrent précisément ces conditions.

II. Les mouvements qu'exécutent les muscles de la vie animale et ceux qu'accomplissent les muscles de la vie organique, présentent quelques différences. Ainsi, *en général*, les muscles de la première classe agissent sous l'influence de la volonté, ceux de la seconde se contractent en dehors de cette force et souvent sans que l'âme en ait conscience. Dans les muscles extérieurs, la contraction totale survient immédiatement après l'application de l'excitant ; dans les muscles intérieurs, la *contraction* est limitée au point irrité et ne se développe qu'un certain temps après *l'application* du stimulant externe.

Il semble donc rationnel, de prime abord, de diviser tous les mouvements en *mouvements volontaires* et en *mouvements involontaires ;* les premiers appartenant aux muscles de la vie animale, les seconds à ceux de la vie organique.

Toutefois, pour peu qu'on réfléchisse à une pareille division, on ne tarde pas à s'apercevoir qu'elle est attaquable par plusieurs points. Ainsi, il est incontestable qu'il existe des mouvements involontaires qui sont dus à des muscles ordinairement soumis à la volonté : le rire, le bâillement, les soupirs sont exécutés, en partie, par des muscles dont la contraction est évidemment volontaire. Le système nerveux prend une part aussi bien à l'accomplissement des mouvements involontaires qu'à celui des autres qui sont sous la dépendance de la volonté. La structure intime n'est pas non plus uniforme dans chacune des catégories de muscles chargés des deux ordres de mouvements. Si, en effet, on trouve le plus souvent des fibres striées dans les muscles de la vie de relation, des fibres plates dans les muscles organiques, le cœur ne fait-il pas une exception remarquable à cette règle? Les propriétés physiques des muscles n'offrent pas une constance plus grande dans chacune des deux classes précédentes. Sans aucun doute, les muscles volontaires sont généralement rouges; mais, chez les poissons, la plupart d'entre eux sont pâles. Par contre, si les muscles de la vie organique sont moins colorés, n'existe-t-il pas une exception pour la couleur des fibres musculaires du cœur des mammifères et du gésier des oiseaux?

Ni la physiologie ni l'anatomie ne sont donc favorables à la division des mouvements en volontaires et en involontaires. Quelques physiologistes ayant senti tous les inconvénients d'une pareille division, en ont proposé une autre : ils ont admis des mouvements *automatiques* et des mouvements *volontaires*. Mais il existe tant de variétés dans chacune de ces deux classes de mouvements, qu'en l'adoptant on retombe dans la même confusion. Pour ne parler ici que des mouvements automatiques, ne voit-on pas tout de suite qu'il y a une différence capitale entre les mouvements rhythmiques du cœur, ceux des muscles respirateurs et les mouvements réflexes?

III. J. Müller (1), qui a bien fait ressortir les inconvénients des distinctions précédentes, a proposé une nouvelle classification d'ailleurs assez complexe.

Il forme un premier groupe des mouvements qui sont déterminés par des irritations hétérogènes, externes ou internes. Un exemple de ces sortes de mouvements nous est fourni par l'action que la bile ou les fèces exercent sur les intestins, l'urine sur la vessie. Sous le nom d'*irritations hétérogènes*, le physiologiste allemand comprend toutes les causes de mouvement autres que la simple impulsion du principe nerveux. Tous les muscles de la partie animale et de la partie organique du corps peuvent exécuter ces espèces de mouvements, et ceux-ci s'accomplissent en dehors de la volonté; la seule condition nécessaire à leur manifestation est une irritation. Cette dernière agit ou bien sur le muscle lui-même, ou sur le nerf, ou sur le centre cérébro-spinal.

Tous les muscles se contractent sous l'influence d'une irritation extérieure; la seule différence qui existe, sous ce rapport, entre les muscles de la vie animale et ceux de la vie organique, est dans la rapidité plus ou moins grande avec laquelle

(1) *Manuel de physiologie*, t. II, p. 60. Trad. de Jourdan.

la contraction succède à l'irritation qui la détermine. Sous ce rapport, on sait, comme nous l'avons déjà dit, que, dans les muscles animés par des filets nerveux du grand sympathique, le mouvement s'établit avec plus de lenteur que dans ceux qui reçoivent des nerfs du système cérébro-spinal.

Une irritation portée sur les nerfs donne lieu à une contraction musculaire. Cet effet ne s'observe pas seulement dans les muscles de la vie animale; ceux de la vie organique partagent avec les précédents cette remarquable propriété. Humboldt a changé les battements du cœur en appliquant le galvanisme aux nerfs cardiaques; J. Müller (1) a ravivé le mouvement péristaltique du canal intestinal d'un lapin, en galvanisant le ganglion cœliaque, ou en le touchant avec la potasse caustique.

L'irritation des organes centraux du système nerveux n'est pas moins puissante pour exciter des contractions dans les muscles de la vie animale et dans ceux de la vie organique. Wilson Philip, par exemple, a reconnu que le mouvement du cœur peut être changé par l'excitation de l'encéphale et de la moelle. Quant à l'influence des diverses parties du centre cérébro-spinal sur les différentes portions de l'appareil moteur de la vie animale, je renvoie le lecteur au chapitre dans lequel je traiterai ce sujet avec tous les détails qu'il comporte. (Voyez t. II, 2e partie, p. 20 à 42.)

IV. Les mouvements *automatiques* forment une classe fort nombreuse. Sous ce nom, J. Müller comprend « tous les mouvements qui, indépendants des actions de l'âme, sont continus ou affectent un rhythme régulier, et qui dépendent de causes naturelles, compatibles avec la santé, dont les nerfs ou les organes centraux sont le siége. »

Nous trouvons d'abord ici une première division de ces mouvements : ceux qui dépendent du grand sympathique et ceux qui dépendent des organes centraux. Ces derniers offrent eux-mêmes tantôt un type intermittent, tantôt un type continu.

A. — Les mouvements automatiques, qui dépendent du nerf grand sympathique, se rencontrent aussi bien dans les muscles dont les faisceaux primitifs présentent des fibres striées, tels que le cœur, que dans les muscles à fibres plates, comme les intestins et le corps de la vessie. Le caractère différentiel de ces mouvements, c'est que les premiers, dus aux fibres striées, sont, en général, prompts, instantanés, tandis que les seconds sont lents à se produire; différence qu'on a cru devoir rattacher à la structure des fibres musculaires qui forment les deux ordres d'organes contractiles.

Tous ces mouvements présentent quelques caractères généraux qu'il suffira de signaler rapidement. Les contractions se propagent à l'organe peu à peu; on s'assure de ce fait en expérimentant sur le cœur de la grenouille : on voit alors le mouvement commencer aux veines caves et se propager successivement aux oreillettes, aux ventricules et au bulbe de l'aorte. Il en est de même du canal intestinal où le mouvement procède de haut en bas; de la matrice, où il est vermiculaire. Si l'on applique des irritants sur les organes doués de mouvements automatiques, on ne change pas l'ordre naturel de succession de ces mouvements, on ne fait qu'augmenter leur intensité. Par exemple, le cœur bat avec plus de force et

(1) *Ouv. cit.*, t. II, p. 61.

de fréquence quand il est irrité ; mais le rhythme de ses mouvements ne semble pas altéré, les diverses parties de l'organe se contractent dans le même ordre qu'auparavant. La même remarque est applicable aux mouvements du tube intestinal et de la matrice.

Est-il possible de pénétrer la cause intime des contractions rhythmiques que présentent les muscles organiques? Sans vouloir s'engager trop avant dans les hypothèses, on peut poser quelques principes propres à mettre sur la voie de la solution de ce problème.

Mais recherchons d'abord les rapports qui existent entre les diverses parties du système nerveux et les mouvements qui nous occupent, et en particulier ceux du cœur.

Willis (1), qui fait dériver du cervelet tous les mouvements involontaires, pense que le nerf vague est l'intermédiaire principal à l'aide duquel le *cœur* tire de cette portion de l'encéphale le principe de ses mouvements. Haller (2) avec son école, proclamant la doctrine de l'*irritabilité* et déclarant le cœur éminemment irritable, regarde le sang comme son excitant naturel, et le système nerveux comme tout à fait étranger à ses contractions. Prochaska (3), frappé de l'insuffisance de la théorie hallérienne, et d'ailleurs admettant la puissance nerveuse comme une des conditions d'où dépend l'irritabilité, fait émaner des ganglions du grand sympathique la force nerveuse qui entretient les contractions cardiaques. Enfin, Legallois (4) affirme que le cœur soutire le principe de ses battements de *tous les points* de la moelle épinière par l'entremise du grand sympathique, qui en provient.

Sur des mammifères, j'ai à la fois enlevé le cervelet et reséqué les deux nerfs vagues : les contractions du cœur ont persisté jusqu'à la mort, arrivée seulement du second au troisième jour. Assurément, si l'opinion de Willis eût été fondée, la mort serait survenue dans un laps de temps infiniment plus court.

Haller et ses partisans, en preuve de l'indépendance dans laquelle le cœur serait du système nerveux, alléguaient : 1° que la stimulation des nerfs cardiaques ne cause aucun changement dans les contractions de cet organe, et ne les rappelle pas quand elles ont cessé ; 2° que l'irritation des moelles allongée et épinière ne produit aucun effet sur le cœur ; 3° que si l'on interrompt toute communication entre lui et le cerveau, *source unique de la puissance nerveuse*, les mouvements cardiaques continuent comme auparavant, ce qui a lieu, par exemple, pour un cœur qu'on vient d'arracher de la poitrine d'un animal vivant.

Mais aucun de ces arguments n'est inattaquable. En effet, la stimulation électrique des nerfs du cœur peut changer ses pulsations, ou même les éveiller de nouveau quand elles viennent de s'éteindre. Les expériences de Wedemeyer (5), et surtout celles de Wilson Philip (6), nous apprennent que l'humectation de la moelle épinière avec de l'alcool accroît les battements cardiaques, mais que la dissolution

(1) *Cerebr. anat. nervorumque descript. et usus*, p. 185. Amsterdam, 1683.

(2) *Dissert. sur l'irritabilité*, dans *Mém. sur la nature sensible et irritable des parties du corps humain*, t. I, p. 72. Lausanne, 1756.

(3) *Comment. de funct. syst. nerv.*, 1784 ; dans le 4e fascic. des *Adnot. acad.* de cet auteur, et réimp. dans ses *Opera minora*. Vienne, 1800.

(4) *Œuv. compl.* avec des notes de Pariset, t. I, p. 144. Paris, 1830.

(5) *Untersuchungen über den Kreislauf*, p. 325.

(6) *An experim. inquiry into the laws of the vit. funct.*, etc., chap. II, p. 80, et chap. XI, p. 243.

d'opium ou d'infusion de tabac, après les avoir accélérés, les ralentit bientôt; qu'enfin, dans ces cas, la portion cervicale de la moelle est celle qui exerce le plus d'influence. Ces expériences avec l'alcool m'ont souvent réussi sur des animaux décapités. La persistance temporaire des contractions, dans un cœur séparé de l'axe cérébro-spinal, ne prouve pas davantage qu'elles aient lieu sans l'intervention du système nerveux; car il est bien permis de croire qu'elles continuent seulement jusqu'à ce que les ganglions de Remak et les filets nerveux qui pénètrent la fibre contractile aient dépensé, d'une manière périodique et plus ou moins rapide selon l'espèce animale, toute la force nerveuse qu'ils tenaient en réserve.

On concevrait d'autant mieux que la seule intervention du grand sympathique fût d'abord suffisante, que, d'après Tiedemann, la substance grise de la moelle n'apparaît, chez le fœtus, que vers le sixième ou le septième mois. Mais, plus tard, la force nerveuse destinée à animer le cœur devant être augmentée, les sources d'où elle provient devaient se multiplier; aussi, selon nous, voit-on s'associer nécessairement dans leur action, et la substance grise ganglionnaire, et la substance grise de la moelle, quoique chacune d'elles fournisse isolément le principe nerveux. De la sorte on s'explique, d'une part, l'entretien de la circulation chez les fœtus amyélencéphales, et, de l'autre, la persistance de la circulation, même chez l'adulte, plusieurs heures après la destruction de la moelle épinière.

Ajoutons que Remak (1) a découvert récemment, dans la substance même du cœur, de petits renflements ganglionnaires qui, peut-être, ne sont pas non plus étrangers à l'entretien des contractions plus ou moins durables de cet organe, après qu'on l'a séparé de l'axe cérébro-spinal et du cordon cervical du grand sympathique.

Quant au *canal intestinal*, qui, comme le cœur, se meut sans la participation de la volonté, et qui, comme lui, se contracte longtemps encore après son isolement du centre nerveux cérébro-spinal, il existe bien des incertitudes sur le véritable siége du principe de ses mouvements.

Aussitôt qu'ont cessé les mouvements péristaltiques de l'intestin, provoqués d'abord par l'impression de l'air, vient-on à verser de la potasse caustique sur les ganglions solaires ou bien à faire passer un courant électrique dans les grands nerfs splanchniques, on voit, au bout de quelques secondes, les contractions de tout l'intestin grêle reprendre leur vivacité : J. Müller (2) a exécuté ces expériences avec succès sur des lapins, et je les ai reproduites, avec le même succès, chez des chiens. De plus, j'ai vu les mouvements intestinaux, déjà éteints, reparaître sous l'influence de la stimulation électrique de la moelle dorsale ou lombaire. Dans les maladies de cet organe, chez l'homme, on observe assez fréquemment une dilatation considérable de l'intestin, due à l'affaiblissement de sa tunique musculeuse et à la constipation opiniâtre qui en résulte.

Dans notre opinion, la substance grise des portions dorsale et lombaire de la moelle, les ganglions des plexus épigastrique, lombo-aortique et hypogastrique, quelques autres petits ganglions disséminés dans le mésentère, tels sont les foyers desquels procède la force excitatrice des contractions intestinales.

Cette manière de voir n'est pas partagée par tous les physiologistes : Bidder (3).

(1) MULLER'S *Archiv*, 1844.
(2) *Manuel de physiol.*, t. I, p. 629. Trad. de Jourdan.
(3) MULLER'S *Archiv*, 1844, p. 339 et suiv.

par exemple, nie tout concours de la part de la moelle. Il dit qu'après l'avoir retranchée tout entière chez des grenouilles, si ce n'est au niveau de la première vertèbre cervicale, il a vu les mouvements de l'intestin persister, et ces animaux survivre six et même dix semaines. Au contraire, les grenouilles mouraient au bout de neuf à quinze jours, si, le bulbe restant intact, l'encéphale était détruit; elles succombaient avant le sixième jour, après la destruction de la moelle et de l'encéphale, sauf le bulbe. Or, selon Bidder, si les mouvements de l'intestin peuvent régulièrement persister en l'absence du centre nerveux cérébro-spinal, on ne peut plus chercher l'appareil producteur et régulateur de ces mouvements que dans les ganglions. Mais cet expérimentateur oublie sans doute que, dans toutes ces expériences, le bulbe est demeuré intact : sa conclusion n'est donc point rigoureuse. Du reste, je dois déclarer que, sur un nombre considérable de grenouilles très vives auxquelles j'ai fait subir les précédentes mutilations, je n'ai pu, quoiqu'elles eussent survécu un temps suffisant, acquérir la parfaite certitude de la persistance normale des mouvements intestinaux chez aucune d'elles.

Toutefois, s'il est permis de supposer que ce sont les nerfs du grand sympathique qui tiennent en effet plus spécialement sous leur dépendance les mouvements rhythmiques des muscles organiques, il reste à savoir si la cause intime du rhythme réside dans les fibres musculaires ou dans les fibres nerveuses.

Admettons pour un instant la première hypothèse. Pour se rendre compte d'une pareille propriété que posséderaient les fibres musculaires, il serait nécessaire que l'action du principe nerveux étant continuelle, les fibres du cœur ou celles des intestins perdissent leur faculté contractile après chaque contraction, et la reprissent par le fait seul d'un repos très court. Cette hypothèse, tout ingénieuse qu'elle paraisse, soulève des objections : ainsi tous les autres muscles se meuvent d'une manière durable quand l'irritation persiste; et, quand ils sont fatigués, il faut, pour rétablir en eux l'aptitude à ressentir les irritations, non seulement un repos plus ou moins prolongé, mais encore l'influence du sang en circulation. Or, nous avons déjà fait observer que le cœur arraché de la poitrine continue ses battements; et, dans ces conditions, ne sait-on pas que les capillaires de l'organe, alimentés par l'artère cardiaque antérieure et postérieure, ne reçoivent plus de sang? Sera-t-on plutôt porté à mettre le rhythme des contractions sur le compte de la nature même des fibres des muscles organiques? Mais ne voit-on pas tout de suite la différence qui existe, sous ce rapport, entre les fibres musculaires du cœur et celles du canal intestinal?

Il faut donc en venir à la seconde hypothèse, à savoir que la cause du rhythme réside dans les fibres nerveuses. Mais comment l'impulsion du principe nerveux, dans les parties auxquelles le grand sympathique distribue ses filets, observe-t-elle un rhythme? J. Müller (1) l'explique par la présence des ganglions qui se trouvent sur le trajet des filets nerveux. Ces ganglions ont été comparés à des demi-conducteurs du fluide nerveux; l'irritation du ganglion cœliaque ne se transmet elle-même, ainsi que nous l'avons vu, que lentement au canal intestinal. Les nerfs du grand sympathique seraient donc, comme les ganglions appartenant au même système, des demi-conducteurs. D'après cela, on comprendrait que le fluide nerveux s'accumulât dans les ganglions pendant un temps déterminé jusqu'à ce que la

(1) *Ouv. cit.*, t. II, p. 61.

somme d'influx nerveux ainsi accumulé l'emportât sur le pouvoir isolant du ganglion. A ce moment seulement le fluide nerveux s'en échapperait, et parcourant les filets nerveux émanés du ganglion, irait porter son action sur les fibres musculaires auxquelles ces derniers se distribuent.

B. — Les mouvements automatiques du système animal, à type intermittent, comprennent les mouvements respiratoires. Il s'agit d'abord de rechercher la portion des centres nerveux qui tient ces mouvements sous sa dépendance, après quoi nous essaierons de pénétrer l'essence de ce mouvement rhythmique.

Enlevez successivement à un jeune chien, par exemple, les lobes cérébraux, les corps striés, les couches optiques, les tubercules quadrijumeaux, le cervelet et la protubérance annulaire ; videz, en un mot, à peu près complétement la cavité crânienne, et vous verrez (le bulbe rachidien et la moelle demeurant intacts) les mouvements de la *respiration* continuer avec une grande régularité. Mais lorsqu'à l'aide de deux sections transversales du bulbe, vous aurez intercepté un segment ou une rondelle renfermant l'origine de la huitième paire avec quelques filets radiculaires du nerf spinal, les mouvements respiratoires s'arrêteront d'une manière brusque, et l'animal périra asphyxié.

Il existe donc, dans les centres nerveux, une partie qui tient sous sa dépendance immédiate le mécanisme respiratoire, et dont la destruction enraie aussitôt le jeu de ce mécanisme.

Ce fait, aussi curieux qu'important, était déjà connu de Galien lui-même (1). Lorry (2), ignorant sans doute l'expérience de Galien, annonce, avec étonnement, le même résultat.

Mais ni Galien, ni Lorry n'avaient rigoureusement délimité cette portion de l'axe cérébro-spinal dont la lésion tue les animaux à l'instant même. Legallois et surtout Flourens ont mis plus de précision dans leurs recherches.

Selon Legallois (3), le premier mobile, le principe de tous les mouvements inspiratoires a son siége vers cet endroit de la moelle allongée (bulbe rachidien) qui donne naissance aux nerfs de la huitième paire. Flourens (4) a démontré que l'organe *premier moteur* du mécanisme respiratoire se trouve à l'origine même de cette paire nerveuse, qu'il commence avec elle et s'étend un peu au-dessous.

Mes propres expériences m'ont conduit à reconnaître que l'organe premier moteur du mécanisme respiratoire n'a pas son siége *dans toute l'épaisseur* de la rondelle ou du segment de bulbe, commençant avec l'origine même de la huitième paire, et finissant un peu au-dessous d'elle. En effet, j'ai pu diviser, détruire, à ce niveau, les pyramides et les corps restiformes, et voir la respiration persister : au contraire, la *destruction isolée du faisceau intermédiaire du bulbe*, au même niveau, *a produit la suspension instantanée de la respiration*. A cette occasion, je ferai remarquer que les corps restiformes et pyramidaux sont exclusivement formés de fibres blanches, remplissant le simple rôle de conducteur des impressions et des ordres de la volonté, tandis que le faisceau intermédiaire (j'appelle ainsi celui qui est situé entre les corps pyramidal et restiforme) est seul pénétré d'une quantité considérable de substance grise, riche en vaisseaux artériels, et

(1) *De anat. administr.*, lib. VIII, cap. IX, p. 696 et 697. édit. de Kühn. Leipsick, 1821.
(2) Acad. des sc., *Mem. des savants étrangers*, t. III, p. 366 et 367.
(3) *Œuv. complè.*, t. I, p. 247 et 259. Rapport de Percy, avec des notes de Pariset. Paris, 1830.
(4) *Ouv. cit.*, p. 203.

apte à représenter au centre du bulbe rachidien un foyer spécial d'innervation. C'est donc l'intégrité fonctionnelle de ce foyer spécial qui est seule nécessaire, chez les animaux, à l'entretien de leurs mouvements respiratoires ; tandis que les facultés motrice et sensitive des parties qui l'avoisinent (*pyramides et corps restiformes*) peuvent être suspendues sans danger immédiat pour la vie, comme je l'ai constaté sur les animaux soumis à l'inhalation de l'éther. Est-il besoin d'ajouter que tous les jours, chez les agonisants et les apoplectiques, on a lieu d'observer que, ne fonctionnant déjà plus comme organe de transmission, ni des impressions sensitives, ni de l'action cérébrale sur les muscles volontaires, cependant le bulbe continue d'agir comme premier moteur du mécanisme respiratoire?

Il est donc bien démontré que la cause commune des mouvements respiratoires réside dans le bulbe.

Quelle idée doit-on se faire du rhythme des mouvements respiratoires? Est-ce une seule excitation des muscles inspirateurs qui agit périodiquement, c'est-à-dire à des intervalles déterminés? ou bien sont-ce deux excitations consécutives et alternatives, dont l'une répond à l'inspiration et l'autre à l'expiration? Si l'on observe un homme dont la respiration est calme, on constate que l'expiration semble résulter de la mise en jeu de l'élasticité et de l'abaissement spontané des parties qui ont été précédemment distendues et soulevées. Lorsqu'au contraire l'inspiration s'exécute avec plus de force et de fréquence, l'expiration devient elle-même active; alors il est incontestable que le rhythme des mouvements respiratoires offre deux temps distincts. On peut donc dire qu'alors, durant la respiration, il s'opère dans le bulbe rachidien une décharge du principe nerveux vers tous les muscles inspirateurs, et que, bientôt après, a lieu une autre décharge vers les muscles expirateurs.

Reste à présent à rechercher la solution de deux questions :

1° Quelle est la cause qui excite le bulbe rachidien à opérer ces décharges du principe nerveux vers les nerfs respiratoires, après la naissance?

On a supposé que la sensation exercée par l'air atmosphérique sur les poumons, au moment où le fœtus vient au monde, se transmet par le nerf pneumo-gastrique jusqu'au foyer central des mouvements respiratoires, et que cette excitation est suivie de la décharge du principe nerveux à travers les différents nerfs qui animent les muscles respiratoires. L'expérience suivante ne semble pas favorable à cette hypothèse : la section des nerfs pneumo-gastriques et des rameaux laryngés supérieurs, pratiquée sur des lapins, n'abolit pas le rhythme des mouvements respiratoires, qui persistent pendant plusieurs heures (1). Kind (2) a voulu expliquer l'établissement de ces mouvements par l'irritation que l'air atmosphérique exerce sur la peau : mais on peut objecter qu'une grenouille dépouillée de toute sa peau continue à respirer.

On attribue, assez généralement, l'établissement des mouvements respiratoires à l'action toute spéciale produite par l'excitation du sang artériel sur le bulbe rachidien. Lorsqu'on tient des grenouilles plongées pendant plusieurs heures dans du gaz hydrogène, ces animaux cessent de respirer au bout de quelque temps. Si on les expose ensuite à l'action de l'air atmosphérique, et si le cœur bat encore, les mouvements respiratoires renaissent à mesure que le sang subit l'influence de l'oxygène de l'air. Ce serait donc une excitation spéciale, causée

(1) J. MÜLLER, *our. et l. cit.*, p. 70.
(2) VOLTOLINI, *Diss. de motu respiratorio*. Berlin, 1842.

par le sang artériel sur le bulbe, qui donnerait lieu aux décharges du principe nerveux qui anime les muscles de la respiration.

2° Comment peut-on se rendre compte du rhythme des mouvements respiratoires, ou, en d'autres termes, comment l'excitation continue du bulbe rachidien par le sang artériel, qui lui arrive incessamment, produit-elle une décharge périodique du principe nerveux du bulbe? Nous entrons ici dans le champ des hypothèses.

(*a*) On pourrait admettre qu'il y a dans le bulbe rachidien un pouvoir isolant analogue à celui des ganglions du grand sympathique, et que ce pouvoir isolant empêche le principe nerveux de se décharger à mesure qu'il est produit par l'action que le sang artériel exerce sur la substance nerveuse. Le principe ou l'influx nerveux s'accumule jusqu'au moment où il surmonte la résistance du corps isolant qui le retenait, et fait alors irruption dans les nerfs respiratoires pour faire contracter les muscles auxquels ces nerfs se distribuent.

(*b*) On pourrait encore supposer que l'aptitude d'un nerf à conduire le principe nerveux, ou l'aptitude des muscles à se contracter sous l'influence de ce principe, est limitée et cesse au bout d'un certain temps, jusqu'à ce qu'elle se soit rétablie par le travail de la vie dans les vaisseaux capillaires. Ce qui paraîtrait favorable à cette opinion, c'est que l'inspiration ou la contraction des muscles inspirateurs, aussi bien que l'expiration, c'est-à-dire la contraction des muscles expirateurs, sont limitées. Toutefois, cette opinion ne s'harmonise pas avec ce qui se passe dans les autres muscles, dont la contraction peut être soutenue pendant un temps assez long. Ce qui prouve, au surplus, que ces deux théories sont insuffisantes, c'est que, après une longue inspiration volontaire, on éprouve non seulement un épuisement des muscles inspirateurs, mais le besoin d'exercer un autre effort en sens inverse. Il en est de même après une longue expiration. Cette dernière considération a donc suggéré une autre hypothèse.

(*c*) La cause de l'alternance des mouvements respiratoires est dans le besoin d'expirer l'air imprégné d'acide carbonique. Rappelons ici l'expérience précitée de la section des nerfs vagues et des laryngés supérieurs. Après cette opération, pour beaucoup de physiologistes, toute sensation respiratoire serait abolie; et pourtant les mouvements rhythmiques de la respiration persistent.

(*d*) Je ne ferai que mentionner une quatrième hypothèse, dans laquelle on admet que le rhythme des mouvements respiratoires dépend de la différence que le resserrement et l'ampliation de la poitrine apportent dans la plénitude des gros troncs veineux et des veines du cerveau.

On voit que, dans l'état actuel de la science, il est impossible de préciser la véritable cause des décharges périodiques et alternatives du principe nerveux vers les nerfs qui animent les muscles inspirateurs et expirateurs. Tout ce que l'on peut affirmer, c'est que le bulbe rachidien est le foyer central des divers mouvements respiratoires.

C. — J. Müller (1) admet, parmi les mouvements automatiques du système animal à type continu, les mouvements des sphincters, qui, suivant lui, sont dans un état de contraction permanente. Le resserrement de ces muscles étant plutôt le résul-

(1) *Ouv. et l. cit.*, p. 73.

tat de cette propriété qu'on appelle *tonicité* que d'une véritable contraction, nous n'y insisterons pas davantage.

V. Nous avons parlé précédemment des muscles congénères et des muscles antagonistes. Ces derniers jouent un rôle dans divers mouvements qu'ils peuvent déterminer et que le physiologiste allemand a désignés sous le nom de *mouvements par antagonisme*. Ces sortes de mouvements ont lieu quand certains muscles sont paralysés : la tonicité, qui est alors mise en jeu dans les antagonistes de ceux-ci, les fait revenir sur eux-mêmes, c'est-à-dire rapproche leurs points d'attache, et conséquemment imprime aux organes auxquels ils s'insèrent des mouvements. C'est ainsi que, dans l'hémiplégie faciale, la commissure labiale est déviée. C'est ainsi encore qu'après l'extirpation de la partie moyenne de la mâchoire inférieure, l'os hyoïde et la langue sont tirés en arrière, le premier par le stylo-hyoïdien, la seconde par le stylo-glosse ; les muscles digastriques, mylo-hyoïdiens, génio-hyoïdiens, génio-glosses ayant été coupés.

Si l'on envisage la disposition générale des muscles des membres, on reconnaît que ces muscles forment des groupes antagonistes ; fléchisseurs et extenseurs, supinateurs et pronateurs, abducteurs et adducteurs, rotateurs en dehors et rotateurs en dedans, s'opposent mutuellement leur action réciproque. Certains muscles ont des antagonistes faibles ou en manquent. Ainsi les rotateurs en dehors de la cuisse sont nombreux : les fessiers, les obturateurs, le pyramidal, les jumeaux, le carré crural, forment ce groupe ; comme rotateurs en dedans, on ne trouve que le moyen fessier, une portion du petit, et peut-être le *fascia lata*.

Une loi assez constante, sinon générale, est que des nerfs différents se distribuent à des muscles antagonistes. Ainsi les fléchisseurs de la main et des doigts sont animés par les divisions du nerf cubital et du nerf médian ; les extenseurs de la main et des doigts par le nerf radial, les fléchisseurs de l'avant-bras par le nerf musculo-cutané, les extenseurs de l'avant-bras par le nerf radial.

Cependant il arrive parfois qu'un même nerf tient sous sa dépendance des muscles antagonistes : ainsi le nerf sciatique poplité externe fournit aux muscles péroniers qui élèvent le bord externe du pied, et au jambier antérieur qui en élève le bord interne ; le moteur oculaire commun, aux muscles élévateur et abaisseur du globe de l'œil ; le nerf récurrent aux muscles constricteurs et dilatateurs de la glotte, etc.

VI. *Des mouvements réflexes.* — Une impression faite à nos organes peut, en parcourant des voies différentes dans la masse cérébro-spinale, donner lieu à des mouvements de nature distincte. Ainsi, tantôt transmise à l'encéphale directement par les nerfs sensitifs crâniens, ou indirectement par l'entremise de la moelle épinière et des racines spinales postérieures, elle va s'élaborer dans la région encéphalique où réside le *sensorium commune*, s'y transforme en sensation, et, par conséquent, arrive à la connaissance de l'animal qui peut réagir par des mouvements *volontaires* : tantôt, également transmise par les nerfs sensitifs, soit à une partie déterminée de l'encéphale, soit à la moelle épinière, cette impression occasionne, sans se transformer nécessairement en sensation, une incitation immédiatement réfléchie sur les nerfs moteurs ; d'où des mouvements dits *réflexes*, à la production desquels la volonté ne prête plus son concours.

La puissance, qui donne ainsi lieu à des mouvements sans la participation de la

volonté, a été considérée comme une faculté spéciale de l'axe cérébro-rachidien, et désignée sous les noms de *pouvoir réflexe*, *faculté* ou *propriété excito motrice*.

Aucun expérimentateur n'a reconnu plus souvent que Legallois que ces sortes de mouvements disparaissent par la destruction de la moelle, dont le concours, comme organe central, est par conséquent indispensable à l'action réflexe des nerfs sensitifs sur les nerfs moteurs, d'après l'expression de Prochaska.

Dès 1823, Herbert-Mayo (1) avait reconnu que les phénomènes réflexes ne sont pas restreints à la moelle et aux nerfs spinaux, mais qu'ils peuvent se manifester, par l'entremise des masses encéphaliques et des nerfs sensoriels cérébraux, à la suite de véritables sensations. Ce physiologiste a démontré, en effet, qu'après la section du nerf optique, toute excitation mécanique du bout cérébral de ce nerf, chez l'animal vivant, est accompagnée de mouvements de la pupille. Or, on sait que la section de cette paire nerveuse, dans l'extirpation de l'œil chez l'homme, fait apercevoir au malade des masses considérables de lumière : la précédente expérience fournit donc un exemple de mouvement involontaire réflexe succédant à une sensation, et dans lequel l'encéphale lui-même sert d'intermédiaire entre l'excitation sensorielle ou centripète et l'excitation motrice ou centrifuge. C'est d'ailleurs un phénomène du même ordre qu'on observe à l'état normal, toutes les fois que la lumière vient à impressionner la rétine elle-même.

Quant au pouvoir réflexe de la moelle épinière, Herbert-Mayo (2) s'énonce ainsi : « Si l'on divise la moelle au milieu du cou, et qu'on fasse une seconde section au milieu du dos, on produit une contraction musculaire en irritant un organe sensitif lié avec l'un ou l'autre segment isolé; si l'on pique la plante du pied, le pied se retire brusquement, de la même manière que cela eût eu lieu pendant la vie, c'est-à-dire qu'un organe sensitif est excité, et qu'une irritation se propage au moyen du nerf sensitif jusqu'au segment isolé de la moelle épinière, où elle donne lieu à un changement suivi d'une impulsion propagée le long des nerfs de la volonté jusqu'aux muscles de la partie correspondante. »

On a vu déjà que ces actes consistent en ce qu'une excitation quelconque, émanée d'un organe de l'économie, et transmise par des fibres nerveuses sensitives, soit à la moelle épinière, soit à l'encéphale, se *réfléchit*, par l'entremise de ces centres nerveux, sur des fibres nerveuses motrices, pour donner lieu à des mouvements dits réflexes, auxquels la volonté reste complétement étrangère. Or, ces sortes de mouvements, qui ont, de plus, pour caractère de ne se produire, en général, qu'à la suite de la stimulation des nerfs sensitifs (3), peuvent se manifester, soit dans les muscles de la vie animale, soit dans ceux de la vie organique; ce qui nous oblige, par conséquent, à les examiner dans ces deux cas. Après un pareil examen, on comprendra facilement toute l'importance du rôle que joue, dans l'accomplissement de certains phénomènes de la vie, l'aptitude de l'axe cérébro-spinal à produire des décharges motrices involontaires.

Dans les mouvements réflexes des muscles de la vie animale, comme dans ceux des muscles de la vie organique, l'excitation centripète, propagée à l'encéphale ou à la moelle épinière, peut prendre naissance, soit dans les nerfs cérébro-rachidiens, soit

(1) *Anat. and physiol. commentaries*. Londres, 1823.

(2) *Ouv. cit.*, 3e édit., p. 230.

(3) Toutefois, le bâillement et le vomissement peuvent avoir lieu par cela seul qu'on voit ou qu'on entend quelqu'un bâiller ou vomir. Après avoir éprouvé violemment le mal de mer, il m'est arrivé, pendant plusieurs jours, de vomir au seul souvenir des angoisses que j'avais endurées.

dans les nerfs de la vie organique, et, dans l'un ou l'autre cas, suivant qu'elle arrive ou non jusqu'au siége du *sensorium commune*, devenir sensation ou ne pas prendre ce caractère. Je ne partage donc pas l'opinion de ceux qui prétendent que les mouvements réflexes ne sont jamais précédés de sensations, et je me range à l'opinion contraire de Prochaska, dont la vérité est surabondamment démontrée par l'observation des faits. Du reste, j'abandonnerai au lecteur la tâche facile de reconnaître, parmi les effets réflexes qui vont être signalés, ceux qui ont lieu avec ou sans l'intervention du *sensorium commune*.

1° *Mouvements réflexes des muscles de la vie animale, succédant à l'irritation des nerfs sensitifs céphalo-rachidiens.* — Quand, à l'aide d'une section transverse pratiquée au niveau de la région dorsale, on a complètement divisé une grenouille ou une salamandre, si l'on vient à stimuler les téguments des membres abdominaux, ceux-ci exécutent encore des mouvements plus ou moins énergiques. Mais ce phénomène intéressant ne se manifeste qu'autant que, dans le train postérieur de l'animal, existe un tronçon de moelle épinière; il cesse aussitôt que ce dernier est détruit : preuve évidente que de pareils mouvements ne sauraient provenir d'un conflit entre les fibres sensitives et les fibres motrices des nerfs eux-mêmes, et que la moelle est réellement douée d'un pouvoir moteur involontaire.

La simple décapitation, avec soustraction du bulbe rachidien et abolition des mouvements respiratoires, ne doit donc pas non plus empêcher les quatre membres de se mouvoir isolément ou simultanément, chaque fois qu'une irritation suffisante impressionne l'enveloppe cutanée. En effet, dans la première période de l'empoisonnement par le chlorhydrate de strychnine, même chez des mammifères, j'ai pu souvent constater que, si le plus léger attouchement de leur surface tégumentaire occasionne des secousses convulsives, celles-ci n'offrent pas une moindre intensité après la décapitation, tandis qu'elles se suppriment instantanément par la destruction de la moelle spinale.

Ainsi, nous voyons le système musculaire de la vie de relation accomplir des mouvements généraux ou partiels sous l'influence d'une force autre que la volonté, puisque l'encéphale, sans lequel un acte volontaire quelconque ne saurait se produire, peut être détruit sans que les mouvements précédents cessent d'avoir lieu.

Ajoutons que, quand bien même l'encéphale existe, et, avec lui, la volonté, des mouvements réflexes peuvent survenir nécessairement, c'est-à-dire en dépit de la résistance volontaire que l'individu oppose à leur manifestation. Tels sont, parmi les effets réflexes de la catégorie dont nous nous occupons, ceux qui suivent :

Après l'immersion prolongée dans un bain froid, surviennent un claquement des dents, un tremblement général que la volonté est inhabile à maîtriser. Celle-ci ne peut davantage empêcher le mouvement spasmodique de la glotte, quand une goutte de liquide ou une parcelle d'aliment tombe dans le vestibule sus-glottique; la toux, quand la muqueuse respiratoire est vivement stimulée par une cause quelconque; l'éternuement, après l'excitation directe de la membrane pituitaire. La volonté ne saurait non plus, au delà d'un certain laps de temps, retarder ni les mouvements respiratoires, ni le clignement, qu'il soit dû à l'action d'une lumière trop intense sur la rétine ou d'un excitant quelconque (l'air, les larmes, etc.) sur la conjonctive; ni la contraction des muscles du périnée, lorsque, dans le coït, l'excitation voluptueuse des nerfs du pénis a atteint un certain degré. Que peut encore la volonté sur les spasmes et le tremblement qui s'emparent d'un membre après une brûlure, *après l'application* d'un moxa; sur le tétanos qui succède à la

lesion d'un nerf cérébro-rachidien ; sur les convulsions dues à l'odontalgie, à l'évulsion d'une dent, à la présence d'un névrôme ; sur les secousses convulsives, que précède l'*aura epileptica* ressentie dans tel ou tel membre ; sur le vomissement provoqué par la stimulation des muqueuses de l'estomac, de l'œsophage, du pharynx, des piliers du voile du palais, de la base de la langue, muqueuses qui toutes doivent leur sensibilité à la présence de nerfs cérébro-rachidiens ? Les mouvements de la respiration ne persistent-ils pas avec une grande régularité durant le sommeil, aussi bien que l'action d'avaler la salive ou d'autres liquides ? Et n'observe-t-on pas encore ces mêmes phénomènes chez les apoplectiques ou chez les animaux auxquels on a enlevé l'encéphale en respectant le bulbe rachidien, centre réflectif sans lequel ni la respiration, ni la déglutition ne sauraient plus s'accomplir ? Chacun a pu éprouver tout ce qu'exige d'attention la résistance qu'on oppose à la déglutition d'un bol alimentaire qui a séjourné pendant longtemps dans la bouche, et qui y a été soumis à une suffisante mastication ; souvent alors la déglutition, phénomène réflexe, s'accomplit malgré nous et au moment où nous nous y attendons le moins. Si l'on opère l'acte de la déglutition plusieurs fois de suite volontairement, et qu'on n'avale que de la salive, bientôt cet acte ne peut plus être répété immédiatement. En effet, tout phénomène réflexe a besoin pour se produire d'un stimulus agissant d'abord sur un nerf sensitif ; et la salive agit comme tel dans le premier, le second et le troisième mouvement de déglutition : mais, dans un quatrième mouvement, promptement essayé, le stimulus manque, et tous les efforts de la volonté sont impuissants à accomplir l'acte de la déglutition, jusqu'à ce que la salive soit de nouveau sécrétée.

2° *Mouvements réflexes des muscles de la vie animale, succédant à l'irritation des filets sensitifs du grand sympathique.* — Les impressions vives, émanées des organes auxquels se distribue le grand symphatique, peuvent, en se propageant à l'encéphale ou à la moelle, donner lieu à la réaction des muscles animés par des nerfs cephalo-rachidiens : c'est ainsi que les irritations du canal intestinal, chez les enfants, déterminent des convulsions ; que l'éclampsie suit de près quelquefois les premières douleurs de l'accouchement [1] ; que parfois les convulsions hystériques sont annoncées par des douleurs intolérables de l'utérus, des ovaires, de la région sacrée, etc. On peut citer également les spasmes des muscles respirateurs qui accompagnent le vomissement, quand celui-ci est provoqué par des irritations du canal intestinal, des reins, de l'utérus, etc.

3° Malgré, en piquant le grand nerf splanchnique, qui se distribue au canal intestinal, après avoir traversé le ganglion semi-lunaire, dit avoir vu, sur des lapins, que les muscles abdominaux du même côté éprouvaient des contractions. Jusqu'à présent, cette expérience ne m'a point réussi. Chez des grenouilles *décapitées*, Wilmanns [2], après avoir irrité le tube intestinal, a observé des mouvements réflexes très prononcés dans le tronc, mouvements que la destruction de la moelle rendait aussitôt impossibles.

3° *Mouvements réflexes des muscles de la vie organique, succédant à l'irritation des nerfs sensitifs cérébro-rachidiens.* — Des impressions transmises à l'axe cérébro-spinal par des nerfs de la vie de relation peuvent, en excitant d'abord [illegible], provoquer une réaction motrice dans des organes animés par le grand

[1] [illegible] des filets du grand sympathique. (Voy. mon *Traité d'anat.* [illegible]

[2] [illegible] Sur les mouvements réflexes. Dans MÜLLER'S *Arch.* 1838.

sympathique. Une sensation vive et douloureuse à la peau (même après la section de la 8e paire) fait battre le cœur avec violence par l'entremise des seuls filets cardiaques sympathiques. L'impression que le nerf optique transmet à l'encéphale est suivie de mouvements dans l'ouverture pupillaire (1). Ces mêmes mouvements s'observent aussi quand on aspire de l'eau froide par les fosses nasales. La contraction des vésicules séminales succède à l'excitation des nerfs du pénis. Celle du *corps* de la vessie (2) s'observe à la suite de la stimulation de la muqueuse de ce réservoir par l'accumulation de l'urine.

Chez une tortue de mer, dont les cœurs lymphatiques avaient été mis à nu, les viscères enlevés et le tronc partagé transversalement en deux parties, J. Müller (3) parvint à produire une contraction instantanée des cœurs d'un côté, qui étaient depuis longtemps inertes, en pinçant la patte de derrière ou en stimulant la peau avec la pointe d'un instrument aigu.

4° *Mouvements réflexes des muscles de la vie organique, succédant à l'irritation des fibres sensitives du grand sympathique.* — Le phénomène de réflexion paraît s'opérer plus difficilement, et surtout plus rarement, des filets sensitifs du grand sympathique à l'axe cérébro-spinal, puis de celui-ci aux filets moteurs du grand sympathique lui-même, que des nerfs sensitifs céphalo-rachidiens à l'axe cérébro-spinal, et de celui-ci aux nerfs moteurs du même ordre.

On peut citer néanmoins les cas suivants comme exemples d'effets réflexes opérés par l'axe cérébro-spinal et le nerf grand sympathique, à l'exclusion des nerfs cérébro-spinaux proprement dits. Dans divers états morbides des intestins, la pupille change de diamètre : sa dilatation, par exemple, accompagne les affections vermineuses, et cesse avec elles. Dans les phlegmasies du tube intestinal, des reins, de l'utérus, des ovaires, etc., les battements du cœur se modifient (4). Chez les grenouilles décapitées, quand la moelle épinière existe encore, le pincement des intestins, d'après Volkmann, provoque des contractions étendues de ce canal, tandis qu'après la destruction de la moelle, la réaction demeure limitée au lieu de l'irritation, et devient toute locale.

Dans nos propres expériences, nous avons pu reconnaître qu'il est facile, en variant l'intensité de l'impression, de donner lieu à des mouvements réflexes plus ou moins étendus. Chez une grenouille décapitée, par exemple, vient-on à stimuler légèrement les téguments d'un membre abdominal, celui-ci entre seul en contraction ; le stimulus, appliqué au même point, est-il plus énergique, les deux membres abdominaux se contractent ; enfin, quoique limitée à la même place, l'excitation extérieure est-elle encore plus vive, les quatre membres s'agitent simultanément.

Il resterait à présenter et à discuter les théories des mouvements réflexes ; mais, à cet égard, je préfère renvoyer le lecteur à la partie de la physiologie du système nerveux où ce sujet sera repris.

(1) Les ramuscules moteurs de l'iris émergent du ganglion ciliaire, dépendance du grand sympathique : on sait que le nerf moteur oculaire commun fournit la racine motrice de ce ganglion.

(2) La contraction involontaire *du corps* de la vessie est influencée par la moelle à l'aide de filets du grand sympathique, tandis que les filets vésicaux cérébro-rachidiens sont seulement en rapport avec la sensation du besoin d'uriner et la dilatation volontaire du *col* vésical.

(3) *Manuel de physiol.*, trad. de Jourdan, t. I, p. 935.

(4) Nous avons déjà fait observer que, malgré la section de la huitième paire, le cœur bat avec violence par l'entremise des seuls filets cardiaques sympathiques, dans le cas, par exemple, d'une sensation vive et douloureuse à la peau. Il est donc bien permis d'admettre l'influence de ces mêmes filets sur *les contractions cardiaques* dans les cas qui viennent d'être cités.

d'opium ou d'infusion de tabac, après les avoir accélérés, les ralentit bientôt : qu'enfin, dans ces cas, la portion cervicale de la moelle est celle qui exerce le plus d'influence. Ces expériences avec l'alcool m'ont souvent réussi sur des animaux décapités. La persistance temporaire des contractions, dans un cœur séparé de l'axe cérébro-spinal, ne prouve pas davantage qu'elles aient lieu sans l'intervention du système nerveux ; car il est bien permis de croire qu'elles continuent seulement jusqu'à ce que les ganglions de Remak et les filets nerveux qui pénètrent la fibre contractile aient dépensé, d'une manière périodique et plus ou moins rapide selon l'espèce animale, toute la force nerveuse qu'ils tenaient en réserve.

On concevrait d'autant mieux que la seule intervention du grand sympathique fût d'abord suffisante, que, d'après Tiedemann, la substance grise de la moelle n'apparaît, chez le fœtus, que vers le sixième ou le septième mois. Mais, plus tard, la force nerveuse destinée à animer le cœur devant être augmentée, les sources d'où elle provient devaient se multiplier : aussi, selon nous, voit-on s'associer nécessairement dans leur action, et la substance grise ganglionnaire, et la substance grise de la moelle, quoique chacune d'elles fournisse isolément le principe nerveux. De la sorte on s'explique, d'une part, l'entretien de la circulation chez les fœtus amyélencéphales, et, de l'autre, la persistance de la circulation, même chez l'adulte, plusieurs heures après la destruction de la moelle épinière.

Ajoutons que Remak (1) a découvert récemment, dans la substance même du cœur, de petits renflements ganglionnaires qui, peut-être, ne sont pas non plus étrangers à l'entretien des contractions plus ou moins durables de cet organe, après qu'on l'a séparé de l'axe cérébro-spinal et du cordon cervical du grand sympathique.

Quant au *canal intestinal*, qui, comme le cœur, se meut sans la participation de la volonté, et qui, comme lui, se contracte longtemps encore après son isolement du centre nerveux cérébro-spinal, il existe bien des incertitudes sur le véritable siége du principe de ses mouvements.

Aussitôt qu'ont cessé les mouvements péristaltiques de l'intestin, provoqués d'abord par l'impression de l'air, vient-on à verser de la potasse caustique sur les ganglions solaires ou bien à faire passer un courant électrique dans les grands nerfs splanchniques, on voit, au bout de quelques secondes, les contractions de tout l'intestin grêle reprendre leur vivacité : J. Müller (2) a exécuté ces expériences avec succès sur des lapins, et je les ai reproduites, avec le même succès, chez des chiens. De plus, j'ai vu les mouvements intestinaux, déjà éteints, reparaître sous l'influence de la stimulation électrique de la moelle dorsale ou lombaire. Dans les maladies de cet organe, chez l'homme, on observe assez fréquemment une dilatation considérable de l'intestin, due à l'affaiblissement de sa tunique musculeuse et à la constipation opiniâtre qui en résulte.

Dans notre opinion, la substance grise des portions dorsale et lombaire de la moelle, les ganglions des plexus épigastrique, lombo-aortique et hypogastrique, quelques autres petits ganglions disséminés dans le mésentère, tels sont les foyers desquels procède la force excitatrice des contractions intestinales.

Cette manière de voir n'est pas partagée par tous les physiologistes : Bidder (3),

(1) MULLER'S *Archiv*, 1844.
(2) *Manuel de physiol.*, t. 1, p. 629. Trad. de Jourdan.
(3) MULLER'S *Archiv*, 1844, p. 329 et suiv.

par exemple, nie tout concours de la part de la moelle. Il dit qu'après l'avoir retranchée tout entière chez des grenouilles, si ce n'est au niveau de la première vertèbre cervicale, il a vu les mouvements de l'intestin persister, et ces animaux survivre six et même dix semaines. Au contraire, les grenouilles mouraient au bout de neuf à quinze jours, si, le bulbe restant intact, l'encéphale était détruit; elles succombaient avant le sixième jour, après la destruction de la moelle et de l'encéphale, sauf le bulbe. Or, selon Bidder, si les mouvements de l'intestin peuvent régulièrement persister en l'absence du centre nerveux cérébro-spinal, on ne peut plus chercher l'appareil producteur et régulateur de ces mouvements que dans les ganglions. Mais cet expérimentateur oublie sans doute que, dans toutes ces expériences, le bulbe est demeuré intact : sa conclusion n'est donc point rigoureuse. Du reste, je dois déclarer que, sur un nombre considérable de grenouilles très vives auxquelles j'ai fait subir les précédentes mutilations, je n'ai pu, quoiqu'elles eussent survécu un temps suffisant, acquérir la parfaite certitude de la persistance normale des mouvements intestinaux chez aucune d'elles.

Toutefois, s'il est permis de supposer que ce sont les nerfs du grand sympathique qui tiennent en effet plus spécialement sous leur dépendance les mouvements rhythmiques des muscles organiques, il reste à savoir si la cause intime du rhythme réside dans les fibres musculaires ou dans les fibres nerveuses.

Admettons pour un instant la première hypothèse. Pour se rendre compte d'une pareille propriété que posséderaient les fibres musculaires, il serait nécessaire que l'action du principe nerveux étant continuelle, les fibres du cœur ou celles des intestins perdissent leur faculté contractile après chaque contraction, et la reprissent par le fait seul d'un repos très court. Cette hypothèse, tout ingénieuse qu'elle paraisse, soulève des objections : ainsi tous les autres muscles se meuvent d'une manière durable quand l'irritation persiste; et, quand ils sont fatigués, il faut, pour rétablir en eux l'aptitude à ressentir les irritations, non seulement un repos plus ou moins prolongé, mais encore l'influence du sang en circulation. Or, nous avons déjà fait observer que le cœur arraché de la poitrine continue ses battements; et, dans ces conditions, ne sait-on pas que les capillaires de l'organe, alimentés par l'artère cardiaque antérieure et postérieure, ne reçoivent plus de sang? Sera-t-on plutôt porté à mettre le rhythme des contractions sur le compte de la nature même des fibres des muscles organiques? Mais ne voit-on pas tout de suite la différence qui existe, sous ce rapport, entre les fibres musculaires du cœur et celles du canal intestinal?

Il faut donc en venir à la seconde hypothèse, à savoir que la cause du rhythme réside dans les fibres nerveuses. Mais comment l'impulsion du principe nerveux, dans les parties auxquelles le grand sympathique distribue ses filets, observe-t-elle un rhythme? J. Müller (1) l'explique par la présence des ganglions qui se trouvent sur le trajet des filets nerveux. Ces ganglions ont été comparés à des demi-conducteurs du fluide nerveux; l'irritation du ganglion cœliaque ne se transmet elle-même, ainsi que nous l'avons vu, que lentement au canal intestinal. Les nerfs du grand sympathique seraient donc, comme les ganglions appartenant au même système, des demi-conducteurs. D'après cela, on comprendrait que le fluide nerveux s'accumulât dans les ganglions pendant un temps déterminé jusqu'à ce que la

(1) *Ouv. cit.*, t. II, p. 64.

somme d'influx nerveux ainsi accumulé l'emportât sur le pouvoir isolant du ganglion. A ce moment seulement le fluide nerveux s'en échapperait, et parcourant les filets nerveux émanés du ganglion, irait porter son action sur les fibres musculaires auxquelles ces derniers se distribuent.

B. — Les mouvements automatiques du système animal, à type intermittent, comprennent les mouvements respiratoires. Il s'agit d'abord de rechercher la portion des centres nerveux qui tient ces mouvements sous sa dépendance, après quoi nous essaierons de pénétrer l'essence de ce mouvement rhythmique.

Enlevez successivement à un jeune chien, par exemple, les lobes cérébraux, les corps striés, les couches optiques, les tubercules quadrijumeaux, le cervelet et la protubérance annulaire ; videz, en un mot, à peu près complétement la cavité crânienne, et vous verrez (le bulbe rachidien et la moelle demeurant intacts) les mouvements de la *respiration* continuer avec une grande régularité. Mais lorsqu'à l'aide de deux sections transversales du bulbe, vous aurez intercepté un segment ou une rondelle renfermant l'origine de la huitième paire avec quelques filets radiculaires du nerf spinal, les mouvements respiratoires s'arrêteront d'une manière brusque, et l'animal périra asphyxié.

Il existe donc, dans les centres nerveux, une partie qui tient sous sa dépendance immédiate le mécanisme respiratoire, et dont la destruction enraie aussitôt le jeu de ce mécanisme.

Ce fait, aussi curieux qu'important, était déjà connu de Galien lui-même (1). Lorry (2), ignorant sans doute l'expérience de Galien, annonce, avec étonnement, le même résultat.

Mais ni Galien, ni Lorry n'avaient rigoureusement délimité cette portion de l'axe cérébro-spinal dont la lésion tue les animaux à l'instant même. Legallois et surtout Flourens ont mis plus de précision dans leurs recherches.

Selon Legallois (3), le premier mobile, le principe de tous les mouvements inspiratoires a son siége vers cet endroit de la moelle allongée (bulbe rachidien) qui donne naissance aux nerfs de la huitième paire. Flourens (4) a démontré que l'organe *premier moteur* du mécanisme respiratoire se trouve à l'origine même de cette paire nerveuse, qu'il commence avec elle et s'étend un peu au-dessous.

Mes propres expériences m'ont conduit à reconnaître que l'organe premier moteur du mécanisme respiratoire n'a pas son siége *dans toute l'épaisseur* de la rondelle ou du segment de bulbe, commençant avec l'origine même de la huitième paire, et finissant un peu au-dessous d'elle. En effet, j'ai pu diviser, détruire, à ce niveau, les pyramides et les corps restiformes, et voir la respiration persister : au contraire, la *destruction isolée du faisceau intermédiaire du bulbe*, au même niveau, *a produit la suspension instantanée de la respiration*. A cette occasion, je ferai remarquer que les corps restiformes et pyramidaux sont exclusivement formés de fibres blanches, remplissant le simple rôle de conducteur des impressions et des ordres de la volonté, tandis que le faisceau intermédiaire (j'appelle ainsi celui qui est situé entre les corps pyramidal et restiforme) est seul pénétré d'une quantité considérable de substance grise, riche en vaisseaux artériels, et

(1) *De anat. administr.*, lib. VIII, cap. IX, p. 696 et 697, édit. de Kühn. Leipsick, 1821.
(2) *Acad. des sc., Mém. des savants étrangers*, t. III, p. 366 et 367.
(3) *Œuv. compl.*, t. I, p. 247 et 259 (Rapport de Percy), avec des notes de Pariset. Paris, 1830.
(4) *Ouv. cit.*, p. 203.

apte à représenter au centre du bulbe rachidien un foyer spécial d'innervation. C'est donc l'intégrité fonctionnelle de ce foyer spécial qui est seule nécessaire, chez les animaux, à l'entretien de leurs mouvements respiratoires ; tandis que les facultés motrice et sensitive des parties qui l'avoisinent (*pyramides et corps restiformes*) peuvent être suspendues sans danger immédiat pour la vie, comme je l'ai constaté sur les animaux soumis à l'inhalation de l'éther. Est-il besoin d'ajouter que tous les jours, chez les agonisants et les apoplectiques, on a lieu d'observer que, ne fonctionnant déjà plus comme organe de transmission, ni des impressions sensitives, ni de l'action cérébrale sur les muscles volontaires, cependant le bulbe continue d'agir comme premier moteur du mécanisme respiratoire?

Il est donc bien démontré que la cause commune des mouvements respiratoires réside dans le bulbe.

Quelle idée doit-on se faire du rhythme des mouvements respiratoires? Est-ce une seule excitation des muscles inspirateurs qui agit périodiquement, c'est-à-dire à des intervalles déterminés? ou bien sont-ce deux excitations consécutives et alternatives, dont l'une répond à l'inspiration et l'autre à l'expiration? Si l'on observe un homme dont la respiration est calme, on constate que l'expiration semble résulter de la mise en jeu de l'élasticité et de l'abaissement spontané des parties qui ont été précédemment distendues et soulevées. Lorsqu'au contraire l'inspiration s'exécute avec plus de force et de fréquence, l'expiration devient elle-même active; alors il est incontestable que le rhythme des mouvements respiratoires offre deux temps distincts. On peut donc dire qu'alors, durant la respiration, il s'opère dans le bulbe rachidien une décharge du principe nerveux vers tous les muscles inspirateurs, et que, bientôt après, a lieu une autre décharge vers les muscles expirateurs.

Reste à présent à rechercher la solution de deux questions :

1° Quelle est la cause qui excite le bulbe rachidien à opérer ces décharges du principe nerveux vers les nerfs respiratoires, après la naissance?

On a supposé que la sensation exercée par l'air atmosphérique sur les poumons, au moment où le fœtus vient au monde, se transmet par le nerf pneumo-gastrique jusqu'au foyer central des mouvements respiratoires, et que cette excitation est suivie de la décharge du principe nerveux à travers les différents nerfs qui animent les muscles respiratoires. L'expérience suivante ne semble pas favorable à cette hypothèse : la section des nerfs pneumo-gastriques et des rameaux laryngés supérieurs, pratiquée sur des lapins, n'abolit pas le rhythme des mouvements respiratoires, qui persistent pendant plusieurs heures (1). Kind (2) a voulu expliquer l'établissement de ces mouvements par l'irritation que l'air atmosphérique exerce sur la peau : mais on peut objecter qu'une grenouille dépouillée de toute sa peau continue à respirer.

On attribue, assez généralement, l'établissement des mouvements respiratoires à l'action toute spéciale produite par l'excitation du sang artériel sur le bulbe rachidien. Lorsqu'on tient des grenouilles plongées pendant plusieurs heures dans du gaz hydrogène, ces animaux cessent de respirer au bout de quelque temps. Si on les expose ensuite à l'action de l'air atmosphérique, et si le cœur bat encore, les mouvements respiratoires renaissent à mesure que le sang subit l'influence de l'oxygène de l'air. Ce serait donc une excitation spéciale, causée

(1) J. MÜLLER, *ouv. et l. cit.*, p. 70.
(2) VOLTOLINI, *Diss. de motu respiratorio*. Berlin, 1842.

par le sang artériel sur le bulbe, qui donnerait lieu aux décharges du principe nerveux qui anime les muscles de la respiration.

2° Comment peut-on se rendre compte du rhythme des mouvements respiratoires, ou, en d'autres termes, comment l'excitation continue du bulbe rachidien par le sang artériel, qui lui arrive incessamment, produit-elle une décharge périodique du principe nerveux du bulbe? Nous entrons ici dans le champ des hypothèses.

(*a*) On pourrait admettre qu'il y a dans le bulbe rachidien un pouvoir isolant analogue à celui des ganglions du grand sympathique, et que ce pouvoir isolant empêche le principe nerveux de se décharger à mesure qu'il est produit par l'action que le sang artériel exerce sur la substance nerveuse. Le principe ou l'influx nerveux s'accumule jusqu'au moment où il surmonte la résistance du corps isolant qui le retenait, et fait alors irruption dans les nerfs respiratoires pour faire contracter les muscles auxquels ces nerfs se distribuent.

(*b*) On pourrait encore supposer que l'aptitude d'un nerf à conduire le principe nerveux, ou l'aptitude des muscles à se contracter sous l'influence de ce principe, est limitée et cesse au bout d'un certain temps, jusqu'à ce qu'elle se soit rétablie par le travail de la vie dans les vaisseaux capillaires. Ce qui paraîtrait favorable à cette opinion, c'est que l'inspiration ou la contraction des muscles inspirateurs, aussi bien que l'expiration, c'est-à-dire la contraction des muscles expirateurs, sont limitées. Toutefois, cette opinion ne s'harmonise pas avec ce qui se passe dans les autres muscles, dont la contraction peut être soutenue pendant un temps assez long. Ce qui prouve, au surplus, que ces deux théories sont insuffisantes, c'est que, après une longue inspiration volontaire, on éprouve non seulement un épuisement des muscles inspirateurs, mais le besoin d'exercer un autre effort en sens inverse. Il en est de même après une longue expiration. Cette dernière considération a donc suggéré une autre hypothèse.

(*c*) La cause de l'alternance des mouvements respiratoires est dans le besoin d'expirer l'air imprégné d'acide carbonique. Rappelons ici l'expérience précitée de la section des nerfs vagues et des laryngés supérieurs. Après cette opération, pour beaucoup de physiologistes, toute sensation respiratoire serait abolie; et pourtant les mouvements rhythmiques de la respiration persistent.

(*d*) Je ne ferai que mentionner une quatrième hypothèse, dans laquelle on admet que le rhythme des mouvements respiratoires dépend de la différence que le resserrement et l'ampliation de la poitrine apportent dans la plénitude des gros troncs veineux et des veines du cerveau.

On voit que, dans l'état actuel de la science, il est impossible de préciser la véritable cause des décharges périodiques et alternatives du principe nerveux vers les nerfs qui animent les muscles inspirateurs et expirateurs. Tout ce que l'on peut affirmer, c'est que le bulbe rachidien est le foyer central des divers mouvements respiratoires.

C. — J. Müller (1) admet, parmi les mouvements automatiques du système animal à type continu, les mouvements des sphincters, qui, suivant lui, sont dans un état de contraction permanente. Le resserrement de ces muscles étant plutôt le résul-

(1) *Ouv. et l. cit.*, p. 73.

tat de cette propriété qu'on appelle *tonicité* que d'une véritable contraction, nous n'y insisterons pas davantage.

V. Nous avons parlé précédemment des muscles congénères et des muscles antagonistes. Ces derniers jouent un rôle dans divers mouvements qu'ils peuvent déterminer et que le physiologiste allemand a désignés sous le nom de *mouvements par antagonisme*. Ces sortes de mouvements ont lieu quand certains muscles sont paralysés: la tonicité, qui est alors mise en jeu dans les antagonistes de ceux-ci, les fait revenir sur eux-mêmes, c'est-à-dire rapproche leurs points d'attache, et conséquemment imprime aux organes auxquels ils s'insèrent des mouvements. C'est ainsi que, dans l'hémiplégie faciale, la commissure labiale est déviée. C'est ainsi encore qu'après l'extirpation de la partie moyenne de la mâchoire inférieure, l'os hyoïde et la langue sont tirés en arrière, le premier par le stylo-hyoïdien, la seconde par le stylo-glosse; les muscles digastriques, mylo-hyoïdiens, génio-hyoïdiens, génio-glosses ayant été coupés.

Si l'on envisage la disposition générale des muscles des membres, on reconnaît que ces muscles forment des groupes antagonistes; fléchisseurs et extenseurs, supinateurs et pronateurs, abducteurs et adducteurs, rotateurs en dehors et rotateurs en dedans, s'opposent mutuellement leur action réciproque. Certains muscles ont des antagonistes faibles ou en manquent. Ainsi les rotateurs en dehors de la cuisse sont nombreux : les fessiers, les obturateurs, le pyramidal, les jumeaux, le carré crural, forment ce groupe; comme rotateurs en dedans, on ne trouve que le moyen fessier, une portion du petit, et peut-être le *fascia lata*.

Une loi assez constante, sinon générale, est que des nerfs différents se distribuent à des muscles antagonistes. Ainsi les fléchisseurs de la main et des doigts sont animés par les divisions du nerf cubital et du nerf médian; les extenseurs de la main et des doigts par le nerf radial, les fléchisseurs de l'avant-bras par le nerf musculo-cutané, les extenseurs de l'avant-bras par le nerf radial.

Cependant il arrive parfois qu'un même nerf tient sous sa dépendance des muscles antagonistes : ainsi le nerf sciatique poplité externe fournit aux muscles péroniers qui élèvent le bord externe du pied, et au jambier antérieur qui en élève le bord interne; le moteur oculaire commun, aux muscles élévateur et abaisseur du globe de l'œil; le nerf récurrent aux muscles constricteurs et dilatateurs de la glotte, etc.

VI. *Des mouvements réflexes.* — Une impression faite à nos organes peut, en parcourant des voies différentes dans la masse cérébro-spinale, donner lieu à des mouvements de nature distincte. Ainsi, tantôt transmise à l'encéphale directement par les nerfs sensitifs crâniens, ou indirectement par l'entremise de la moelle épinière et des racines spinales postérieures, elle va s'élaborer dans la région encéphalique où réside le *sensorium commune*, s'y transforme en sensation, et, par conséquent, arrive à la connaissance de l'animal qui peut réagir par des mouvements *volontaires* : tantôt, également transmise par les nerfs sensitifs, soit à une partie déterminée de l'encéphale, soit à la moelle épinière, cette impression occasionne, sans se transformer nécessairement en sensation, une incitation immédiatement réfléchie sur les nerfs moteurs; d'où des mouvements dits *réflexes*, à la production desquels la volonté ne prête plus son concours.

La puissance, qui donne ainsi lieu à des mouvements sans la participation de la

volonté, a été considérée comme une faculté spéciale de l'axe cérébro-rachidien, et désignée sous les noms de *pouvoir réflexe*, *faculté* ou *propriété excito motrice*.

Aucun expérimentateur n'a reconnu plus souvent que Legallois que ces sortes de mouvements disparaissent par la destruction de la moelle, dont le concours, comme organe central, est par conséquent indispensable à l'action réflexe des nerfs sensitifs sur les nerfs moteurs, d'après l'expression de Prochaska.

Dès 1823, Herbert-Mayo (1) avait reconnu que les phénomènes réflexes ne sont pas restreints à la moelle et aux nerfs spinaux, mais qu'ils peuvent se manifester, par l'entremise des masses encéphaliques et des nerfs sensoriels cérébraux, à la suite de véritables sensations. Ce physiologiste a démontré, en effet, qu'après la section du nerf optique, toute excitation mécanique du bout cérébral de ce nerf, chez l'animal vivant, est accompagnée de mouvements de la pupille. Or, on sait que la section de cette paire nerveuse, dans l'extirpation de l'œil chez l'homme, fait apercevoir au malade des masses considérables de lumière : la précédente expérience fournit donc un exemple de mouvement involontaire réflexe succédant à une sensation, et dans lequel l'encéphale lui-même sert d'intermédiaire entre l'excitation sensorielle ou centripète et l'excitation motrice ou centrifuge. C'est d'ailleurs un phénomène du même ordre qu'on observe à l'état normal, toutes les fois que la lumière vient à impressionner la rétine elle-même.

Quant au pouvoir réflexe de la moelle épinière, Herbert-Mayo (2) s'énonce ainsi : « Si l'on divise la moelle au milieu du cou, et qu'on fasse une seconde section au milieu du dos, on produit une contraction musculaire en irritant un organe sensitif lié avec l'un ou l'autre segment isolé; si l'on pique la plante du pied, le pied se retire brusquement, de la même manière que cela eût eu lieu pendant la vie, c'est-à-dire qu'un organe sensitif est excité, et qu'une irritation se propage au moyen du nerf sensitif jusqu'au segment isolé de la moelle épinière, où elle donne lieu à un changement suivi d'une impulsion propagée le long des nerfs de la volonté jusqu'aux muscles de la partie correspondante. »

On a vu déjà que ces actes consistent en ce qu'une excitation quelconque, émanée d'un organe de l'économie, et transmise par des fibres nerveuses sensitives, soit à la moelle épinière, soit à l'encéphale, se *réfléchit*, par l'entremise de ces centres nerveux, sur des fibres nerveuses motrices, pour donner lieu à des mouvements dits réflexes, auxquels la volonté reste complétement étrangère. Or, ces sortes de mouvements, qui ont, de plus, pour caractère de ne se produire, en général, qu'à la suite de la stimulation des nerfs sensitifs (3), peuvent se manifester, soit dans les muscles de la vie animale, soit dans ceux de la vie organique; ce qui nous oblige, par conséquent, à les examiner dans ces deux cas. Après un pareil examen, on comprendra facilement toute l'importance du rôle que joue, dans l'accomplissement de certains phénomènes de la vie, l'aptitude de l'axe cérébro-spinal à produire des décharges motrices involontaires.

Dans les mouvements réflexes des muscles de la vie animale, comme dans ceux des muscles de la vie organique, l'excitation centripète, propagée à l'encéphale ou à la moelle épinière, peut prendre naissance, soit dans les nerfs cérébro-rachidiens, soit

(1) *Anat. and physiol. commentaries*. Londres, 1823.

(2) *Ouv. cit.*, 3e édit., p. 230.

(3) *Toutefois*, le bâillement et le vomissement peuvent avoir lieu par cela seul qu'on voit ou *qu'on entend* quelqu'un bâiller ou vomir. Après avoir éprouvé violemment le mal de mer, il m'est *arrivé*, pendant plusieurs jours, de vomir au seul souvenir des angoisses que j'avais endurées.

dans les nerfs de la vie organique, et, dans l'un ou l'autre cas, suivant qu'elle arrive ou non jusqu'au siége du *sensorium commune*, devenir sensation ou ne pas prendre ce caractère. Je ne partage donc pas l'opinion de ceux qui prétendent que les mouvements réflexes ne sont jamais précédés de sensations, et je me range à l'opinion contraire de Prochaska, dont la vérité est surabondamment démontrée par l'observation des faits. Du reste, j'abandonnerai au lecteur la tâche facile de reconnaître, parmi les effets réflexes qui vont être signalés, ceux qui ont lieu avec ou sans l'intervention du *sensorium commune*.

1°. *Mouvements réflexes des muscles de la vie animale, succédant à l'irritation des nerfs sensitifs céphalo-rachidiens.* — Quand, à l'aide d'une section transverse pratiquée au niveau de la région dorsale, on a complètement divisé une grenouille ou une salamandre, si l'on vient à stimuler les téguments des membres abdominaux, ceux-ci exécutent encore des mouvements plus ou moins énergiques. Mais ce phénomène intéressant ne se manifeste qu'autant que, dans le train postérieur de l'animal, existe un tronçon de moelle épinière; il cesse aussitôt que ce dernier est détruit : preuve évidente que de pareils mouvements ne sauraient provenir d'un conflit entre les fibres sensitives et les fibres motrices des nerfs eux-mêmes, et que la moelle est réellement douée d'un pouvoir moteur involontaire.

La simple décapitation, avec soustraction du bulbe rachidien et abolition des mouvements respiratoires, ne doit donc pas non plus empêcher les quatre membres de se mouvoir isolément ou simultanément, chaque fois qu'une irritation suffisante impressionne l'enveloppe cutanée. En effet, dans la première période de l'empoisonnement par le chlorhydrate de strychnine, même chez des mammifères, j'ai pu souvent constater que, si le plus léger attouchement de leur surface tégumentaire occasionne des secousses convulsives, celles-ci n'offrent pas une moindre intensité après la décapitation, tandis qu'elles se suppriment instantanément par la destruction de la moelle spinale.

Ainsi, nous voyons le système musculaire de la vie de relation accomplir des mouvements généraux ou partiels sous l'influence d'une force autre que la volonté, puisque l'encéphale, sans lequel un acte volontaire quelconque ne saurait se produire, peut être détruit sans que les mouvements précédents cessent d'avoir lieu.

Ajoutons que, quand bien même l'encéphale existe, et, avec lui, la volonté, des mouvements réflexes peuvent survenir nécessairement, c'est-à-dire en dépit de la résistance volontaire que l'individu oppose à leur manifestation. Tels sont, parmi les effets réflexes de la catégorie dont nous nous occupons, ceux qui suivent :

Après l'immersion prolongée dans un bain froid, surviennent un claquement des dents, un tremblement général que la volonté est inhabile à maîtriser. Celle-ci ne peut davantage empêcher le mouvement spasmodique de la glotte, quand une goutte de liquide ou une parcelle d'aliment tombe dans le vestibule sus-glottique; la toux, quand la muqueuse respiratoire est vivement stimulée par une cause quelconque; l'éternument, après l'excitation directe de la membrane pituitaire. La volonté ne saurait non plus, au delà d'un certain laps de temps, retarder ni les mouvements respiratoires, ni le clignement, qu'il soit dû à l'action d'une lumière trop intense sur la rétine ou d'un excitant quelconque (l'air, les larmes, etc.) sur la conjonctive; ni la contraction des muscles du périnée, lorsque, dans le coït, l'excitation voluptueuse des nerfs du pénis a atteint un certain degré. Que peut encore la volonté sur les spasmes et le tremblement qui s'emparent d'un membre après une brûlure, après l'application d'un moxa; sur le tétanos qui succède à la

lésion d'un nerf cérébro-rachidien; sur les convulsions dues à l'odontalgie, à l'évulsion d'une dent, à la présence d'un névrôme; sur les secousses convulsives, que précède l'*aura epileptica* ressentie dans tel ou tel membre; sur le vomissement provoqué par la stimulation des muqueuses de l'estomac, de l'œsophage, du pharynx, des piliers du voile du palais, de la base de la langue, muqueuses qui toutes doivent leur sensibilité à la présence de nerfs cérébro-rachidiens? Les mouvements de la respiration ne persistent-ils pas avec une grande régularité durant le sommeil, aussi bien que l'action d'avaler la salive ou d'autres liquides? Et n'observe-t-on pas encore ces mêmes phénomènes chez les apoplectiques ou chez les animaux auxquels on a enlevé l'encéphale en respectant le bulbe rachidien, centre réflectif sans lequel ni la respiration, ni la déglutition ne sauraient plus s'accomplir? Chacun a pu éprouver tout ce qu'exige d'attention la résistance qu'on oppose à la déglutition d'un bol alimentaire qui a séjourné pendant longtemps dans la bouche, et qui y a été soumis à une suffisante mastication; souvent alors la déglutition, phénomène réflexe, s'accomplit malgré nous et au moment où nous nous y attendons le moins. Si l'on opère l'acte de la déglutition plusieurs fois de suite volontairement, et qu'on n'avale que de la salive, bientôt cet acte ne peut plus être répété immédiatement. En effet, tout phénomène réflexe a besoin pour se produire d'un stimulus agissant d'abord sur un nerf sensitif; et la salive agit comme tel dans le premier, le second et le troisième mouvement de déglutition : mais, dans un quatrième mouvement, promptement essayé, le stimulus manque, et tous les efforts de la volonté sont impuissants à accomplir l'acte de la déglutition, jusqu'à ce que la salive soit de nouveau sécrétée.

2° *Mouvements réflexes des muscles de la vie animale, succédant à l'irritation des fibres sensitives du grand sympathique.* — Les impressions vives, émanées des organes auxquels se distribue le grand symphatique, peuvent, en se propageant à l'encéphale ou à la moelle, donner lieu à la réaction des muscles animés par des nerfs céphalo-rachidiens : c'est ainsi que les irritations du canal intestinal, chez les enfants, déterminent des convulsions; que l'éclampsie suit de près quelquefois les premières douleurs de l'accouchement (1); que parfois les convulsions hystériques sont annoncées par des douleurs intolérables de l'utérus, des ovaires, de la région solaire, etc. On peut citer également les spasmes des muscles respirateurs qui accompagnent le vomissement, quand celui-ci est provoqué par des irritations du canal intestinal, des reins, de l'utérus, etc.

J. Müller, en pinçant le grand nerf splanchnique, qui se distribue au canal intestinal après avoir traversé le ganglion semi-lunaire, dit avoir vu, sur des lapins, que les muscles abdominaux du même côté éprouvaient des contractions. Jusqu'à présent, cette expérience ne m'a point réussi. Chez des grenouilles *décapitées*, Volkmann (2), après avoir irrité le tube intestinal, a observé des mouvements réflexes très prononcés dans le tronc, mouvements que la destruction de la moelle rendait aussitôt impossibles.

3° *Mouvements réflexes des muscles de la vie organique, succédant à l'irritation des nerfs sensitifs céphalo-rachidiens.* — Des impressions transmises à l'axe cérébro-spinal par des nerfs de la vie de relation peuvent, en excitant d'abord celui-ci, provoquer une réaction motrice dans des organes animés par le grand

(1) Je n'ai trouvé dans l'utérus que des filets du grand sympathique. (Voy. mon *Traité d'anat. et de physiol. du syst. nerv.*, t. II, p. 550.)

(2) *Ueber Reflexbewegungen* : Sur les mouvements réflexes. Dans MULLER'S *Arch.* 1838.

sympathique. Une sensation vive et douloureuse à la peau (même après la section de la 8e paire) fait battre le cœur avec violence par l'entremise des seuls filets cardiaques sympathiques. L'impression que le nerf optique transmet à l'encéphale est suivie de mouvements dans l'ouverture pupillaire (1). Ces mêmes mouvements s'observent aussi quand on aspire de l'eau froide par les fosses nasales. La contraction des vésicules séminales succède à l'excitation des nerfs du pénis. Celle du *corps* de la vessie (2) s'observe à la suite de la stimulation de la muqueuse de ce réservoir par l'accumulation de l'urine.

Chez une tortue de mer, dont les cœurs lymphatiques avaient été mis à nu, les viscères enlevés et le tronc partagé transversalement en deux parties, J. Müller (3) parvint à produire une contraction instantanée des cœurs d'un côté, qui étaient depuis longtemps inertes, en pinçant la patte de derrière ou en stimulant la peau avec la pointe d'un instrument aigu.

4° *Mouvements réflexes des muscles de la vie organique, succédant à l'irritation des fibres sensitives du grand sympathique.* — Le phénomène de réflexion paraît s'opérer plus difficilement, et surtout plus rarement, des filets sensitifs du grand sympathique à l'axe cérébro-spinal, puis de celui-ci aux filets moteurs du grand sympathique lui-même, que des nerfs sensitifs céphalo-rachidiens à l'axe cérébro-spinal, et de celui-ci aux nerfs moteurs du même ordre.

On peut citer néanmoins les cas suivants comme exemples d'effets réflexes opérés par l'axe cérébro-spinal et le nerf grand sympathique, à l'exclusion des nerfs cérébro-spinaux proprement dits. Dans divers états morbides des intestins, la pupille change de diamètre : sa dilatation, par exemple, accompagne les affections vermineuses, et cesse avec elles. Dans les phlegmasies du tube intestinal, des reins, de l'utérus, des ovaires, etc., les battements du cœur se modifient (4). Chez les grenouilles décapitées, quand la moelle épinière existe encore, le pincement des intestins, d'après Volkmann, provoque des contractions étendues de ce canal, tandis qu'après la destruction de la moelle, la réaction demeure limitée au lieu de l'irritation, et devient toute locale.

Dans nos propres expériences, nous avons pu reconnaître qu'il est facile, en variant l'intensité de l'impression, de donner lieu à des mouvements réflexes plus ou moins étendus. Chez une grenouille décapitée, par exemple, vient-on à stimuler légèrement les téguments d'un membre abdominal, celui-ci entre seul en contraction ; le stimulus, appliqué au même point, est-il plus énergique, les deux membres abdominaux se contractent ; enfin, quoique limitée à la même place, l'excitation extérieure est-elle encore plus vive, les quatre membres s'agitent simultanément.

Il resterait à présenter et à discuter les théories des mouvements réflexes ; mais, à cet égard, je préfère renvoyer le lecteur à la partie de la physiologie du système nerveux où ce sujet sera repris.

(1) Les ramuscules moteurs de l'iris émergent du ganglion ciliaire, dépendance du grand sympathique : on sait que le nerf moteur oculaire commun fournit la racine motrice de ce ganglion.

(2) La contraction involontaire *du corps* de la vessie est influencée par la moelle à l'aide de filets du grand sympathique, tandis que les filets vésicaux cérébro-rachidiens sont seulement en rapport avec la sensation du besoin d'uriner et la dilatation volontaire du *col* vésical.

(3) *Manuel de physiol.*, trad. de Jourdan, t. I, p. 935.

(4) Nous avons déjà fait observer que, malgré la section de la huitième paire, le cœur bat avec violence par l'entremise des seuls filets cardiaques sympathiques, dans le cas, par exemple, d'une sensation vive et douloureuse à la peau. Il est donc bien permis d'admettre l'influence de ces mêmes filets sur les contractions cardiaques dans les cas qui viennent d'être cités.

épinière est aussi une source d'innervation, et qu'elle ne constitue point, par conséquent, seulement un appareil de transmission et de décharge pour la force motrice émanée de la protubérance.

Nous ne voulons point examiner, en ce moment, s'il est permis de soutenir, avec certains physiologistes, qu'après l'ablation de ses lobes cérébraux, l'animal puisse encore se mouvoir volontairement ; que les tubercules quadrijumeaux et le cerveau proprement dit coordonnent aussi certains mouvements, comme le cervelet ; que les couches optiques tiennent sous leur dépendance les contractions volontaires des membres thoraciques, et les corps striés celles des membres abdominaux, etc. ; toutes ces questions se présenteront dans l'étude détaillée des fonctions de chaque dépendance de l'encéphale en particulier.

Je crois devoir mentionner ici une classe particulière de mouvements musculaires sur lesquels Chevreul (1) a appelé l'attention, et je rapporterai tout d'abord l'expérience fondamentale qui a servi de point de départ à ses observations : Un pendule, composé d'un anneau de fer suspendu à un fil de chanvre, est saisi de la main droite et placé au-dessus du mercure d'une cuve pneumatique ; cet instrument exécute alors des oscillations, quoique le bras reste immobile. Si l'on place un corps entre le mercure et le pendule, les oscillations cessent ; elles recommencent quand le corps intermédiaire est retiré. Pour savoir si ces oscillations du pendule sont étrangères à tout mouvement musculaire, Chevreul appuie le bras, qui tient le pendule, sur un support de bois qu'il fait avancer à volonté du coude à la main. Le mouvement du pendule décroît alors, et d'autant plus que le support s'approche davantage de la main ; il cesse même lorsque les doigts qui tiennent le fil sont eux-mêmes appuyés.

En répétant l'expérience, dans le but de chercher de nouveau la cause des oscillations du pendule, Chevreul sent très bien qu'en même temps que ses yeux suivent le pendule qui oscille, il y a en lui une disposition ou *tendance au mouvement* qui, tout involontaire, est d'autant plus satisfaite que le pendule décrit des arcs d'oscillation plus grands. Un bandeau est alors placé devant les yeux de l'expérimentateur ; les oscillations du pendule s'arrêtent, et l'interposition d'un corps entre le pendule et le mercure n'exerce plus la moindre influence sur les oscillations.

Chevreul interprète les phénomènes précédents de la manière suivante : En tenant le pendule à la main, un mouvement musculaire du bras, quoique insensible pour l'auteur de l'expérience, fait sortir le pendule de l'état de repos ; les oscillations, une fois commencées, sont augmentées par l'influence de la vue pour mettre l'expérimentateur dans un état particulier de *disposition ou de tendance au mouvement*. Le mouvement musculaire, alors même qu'il s'est accru par cette disposition au mouvement, est néanmoins assez faible pour s'arrêter lorsqu'on a simplement la *pensée d'essayer si tel moyen l'arrêtera*. Il existe donc une liaison entre l'exécution de certains mouvements et l'acte de la pensée qui y est relative, quoique cette pensée ne soit point encore la volonté qui commande aux organes musculaires.

Chevreul cite plusieurs exemples de tendance au mouvement, déterminée en nous par la vue d'un corps en mouvement :

Lorsque l'attention est entièrement fixée sur un oiseau qui vole, sur une pierre

(1) *Archives de médecine*, 2e série, 1833, t. II, p. 130.

qui fend l'air, sur de l'eau qui coule, etc., le corps du spectateur se dirige d'une manière plus ou moins prononcée vers la ligne du mouvement.

Quand un joueur de boule ou de billard suit de l'œil le mobile auquel il a imprimé le mouvement, son corps se porte dans la direction qu'il voudrait voir suivre au mobile.

Si nous marchons sur un plan glissant, nous nous jetons avec promptitude du côté opposé à celui où notre corps est entraîné par suite d'une perte d'équilibre.

Une *tendance au mouvement* se manifeste alors même qu'il nous est impossible de nous mouvoir dans le sens de cette tendance. C'est ainsi qu'en voiture la peur de verser nous roidit dans la direction opposée à celle qui nous menace. Étant sur le sommet d'une montagne, si l'on vient à découvrir tout à coup la profondeur d'un abîme qu'on a au-dessous de soi, on se jette à l'instant même, et irrésistiblement, du côté opposé, poussé par l'instinct de conservation qui lutte contre une tendance au mouvement en sens contraire, déterminée par la vue de l'abîme.

IX. Dans ces derniers temps, Debrou (1) a étudié avec un soin digne d'éloge toute une classe de mouvements, les mouvements *involontaires* qui sont exécutés par des *muscles de la vie animale.* Il a divisé ces sortes de mouvements en deux classes. Dans l'une, se trouvent des mouvements dont l'exécution est invariable, identique, et indépendante des circonstances, de l'éducation, de l'habitude et de l'exercice : tels sont le bâillement, l'éternument, le vomissement, l'expectoration, etc. Dans l'autre, figurent des mouvements qui sont involontaires d'une manière moins invariable, comme ceux à l'aide desquels nous protégeons spontanément et instinctivement notre corps ou ses diverses parties contre des dangers qui nous menacent tout à coup.

Chacune de ces deux classes offre à considérer un certain nombre de variétés.

Parmi les mouvements dont l'exécution est invariablement la même se rencontrent :

1re *Variété. Mouvements associés des muscles congénères.* — Il y a des muscles congénères qui, à l'état ordinaire et hors le cas d'hémiplégie, se contractent toujours ensemble : tels sont les muscles des deux moitiés du voile du palais, du pharynx, du larynx, du périnée ; les muscles abaisseurs de l'os hyoïde d'une part, les élévateurs de l'autre ; les muscles élévateurs des deux yeux, leurs abaisseurs ; les intercostaux externes et internes des deux moitiés du thorax. C'est une loi de notre économie que leur contraction ne saurait être isolée.

2e *Variété. Mouvements associés des muscles antagonistes.* — A ce groupe se rattachent, par exemple, les muscles droits externes et internes des deux yeux. Le droit externe d'un côté se contracte toujours en même temps que son antagoniste du côté opposé, c'est-à-dire le droit interne, et *vice versâ.* La volonté est impuissante pour détruire cette association de mouvements.

3e *Variété. Mouvements pour la succion, la déglutition, pour l'action d'uriner, de vider l'intestin, etc.* — Tous ces mouvements ont cela de commun, qu'une fois que nous avons résolu de les accomplir, ils s'exécutent par le concours d'une série de muscles sur la coordination desquels la volonté n'a aucune influence. Ils s'accomplissent toujours d'une manière identique ; ils ne dépendent ni de l'exercice ni de l'habitude.

(1) *Mémoire sur les mouvements involontaires qui sont exécutés par les muscles de la vie animale. Dans Archives de médecine*, 4e série, t. XV.

d'opium ou d'infusion de tabac, après les avoir accélérés, les ralentit bientôt; qu'enfin, dans ces cas, la portion cervicale de la moelle est celle qui exerce le plus d'influence. Ces expériences avec l'alcool m'ont souvent réussi sur des animaux décapités. La persistance temporaire des contractions, dans un cœur séparé de l'axe cérébro-spinal, ne prouve pas davantage qu'elles aient lieu sans l'intervention du système nerveux; car il est bien permis de croire qu'elles continuent seulement jusqu'à ce que les ganglions de Remak et les filets nerveux qui pénètrent la fibre contractile aient dépensé, d'une manière périodique et plus ou moins rapide selon l'espèce animale, toute la force nerveuse qu'ils tenaient en réserve.

On concevrait d'autant mieux que la seule intervention du grand sympathique fût d'abord suffisante, que, d'après Tiedemann, la substance grise de la moelle n'apparaît, chez le fœtus, que vers le sixième ou le septième mois. Mais, plus tard, la force nerveuse destinée à animer le cœur devant être augmentée, les sources d'où elle provient devaient se multiplier; aussi, selon nous, voit-on s'associer nécessairement dans leur action, et la substance grise ganglionnaire, et la substance grise de la moelle, quoique chacune d'elles fournisse isolément le principe nerveux. De la sorte on s'explique, d'une part, l'entretien de la circulation chez les fœtus amyélencéphales, et, de l'autre, la persistance de la circulation, même chez l'adulte, plusieurs heures après la destruction de la moelle épinière.

Ajoutons que Remak (1) a découvert récemment, dans la substance même du cœur, de petits renflements ganglionnaires qui, peut-être, ne sont pas non plus étrangers à l'entretien des contractions plus ou moins durables de cet organe, après qu'on l'a séparé de l'axe cérébro-spinal et du cordon cervical du grand sympathique.

Quant au *canal intestinal*, qui, comme le cœur, se meut sans la participation de la volonté, et qui, comme lui, se contracte longtemps encore après son isolement du centre nerveux cérébro-spinal, il existe bien des incertitudes sur le véritable siége du principe de ses mouvements.

Aussitôt qu'ont cessé les mouvements péristaltiques de l'intestin, provoqués d'abord par l'impression de l'air, vient-on à verser de la potasse caustique sur les ganglions solaires ou bien à faire passer un courant électrique dans les grands nerfs splanchniques, on voit, au bout de quelques secondes, les contractions de tout l'intestin grêle reprendre leur vivacité : J. Müller (2) a exécuté ces expériences avec succès sur des lapins, et je les ai reproduites, avec le même succès, chez des chiens. De plus, j'ai vu les mouvements intestinaux, déjà éteints, reparaître sous l'influence de la stimulation électrique de la moelle dorsale ou lombaire. Dans les maladies de cet organe, chez l'homme, on observe assez fréquemment une dilatation considérable de l'intestin, due à l'affaiblissement de sa tunique musculeuse et à la constipation opiniâtre qui en résulte.

Dans notre opinion, la substance grise des portions dorsale et lombaire de la moelle, les ganglions des plexus épigastrique, lombo-aortique et hypogastrique, quelques autres petits ganglions disséminés dans le mésentère, tels sont les foyers desquels procède la force excitatrice des contractions intestinales.

Cette manière de voir n'est pas partagée par tous les physiologistes : Bidder (3),

(1) MULLER'S *Archiv*, 1841.
(2) *Manuel de physiol.*, t. I, p. 620. Trad. de Jourdan.
(3) MULLER'S *Archiv*, 1844, p. 359 et suiv.

par exemple, nie tout concours de la part de la moelle. Il dit qu'après l'avoir retranchée tout entière chez des grenouilles, si ce n'est au niveau de la première vertèbre cervicale, il a vu les mouvements de l'intestin persister, et ces animaux survivre six et même dix semaines. Au contraire, les grenouilles mouraient au bout de neuf à quinze jours, si, le bulbe restant intact, l'encéphale était détruit; elles succombaient avant le sixième jour, après la destruction de la moelle et de l'encéphale, sauf le bulbe. Or, selon Bidder, si les mouvements de l'intestin peuvent régulièrement persister en l'absence du centre nerveux cérébro-spinal, on ne peut plus chercher l'appareil producteur et régulateur de ces mouvements que dans les ganglions. Mais cet expérimentateur oublie sans doute que, dans toutes ces expériences, le bulbe est demeuré intact : sa conclusion n'est donc point rigoureuse. Du reste, je dois déclarer que, sur un nombre considérable de grenouilles très vives auxquelles j'ai fait subir les précédentes mutilations, je n'ai pu, quoiqu'elles eussent survécu un temps suffisant, acquérir la parfaite certitude de la persistance normale des mouvements intestinaux chez aucune d'elles.

Toutefois, s'il est permis de supposer que ce sont les nerfs du grand sympathique qui tiennent en effet plus spécialement sous leur dépendance les mouvements rhythmiques des muscles organiques, il reste à savoir si la cause intime du rhythme réside dans les fibres musculaires ou dans les fibres nerveuses.

Admettons pour un instant la première hypothèse. Pour se rendre compte d'une pareille propriété que posséderaient les fibres musculaires, il serait nécessaire que l'action du principe nerveux étant continuelle, les fibres du cœur ou celles des intestins perdissent leur faculté contractile après chaque contraction, et la reprissent par le fait seul d'un repos très court. Cette hypothèse, tout ingénieuse qu'elle paraisse, soulève des objections : ainsi tous les autres muscles se meuvent d'une manière durable quand l'irritation persiste; et, quand ils sont fatigués, il faut, pour rétablir en eux l'aptitude à ressentir les irritations, non seulement un repos plus ou moins prolongé, mais encore l'influence du sang en circulation. Or, nous avons déjà fait observer que le cœur arraché de la poitrine continue ses battements; et, dans ces conditions, ne sait-on pas que les capillaires de l'organe, alimentés par l'artère cardiaque antérieure et postérieure, ne reçoivent plus de sang? Sera-t-on plutôt porté à mettre le rhythme des contractions sur le compte de la nature même des fibres des muscles organiques? Mais ne voit-on pas tout de suite la différence qui existe, sous ce rapport, entre les fibres musculaires du cœur et celles du canal intestinal?

Il faut donc en venir à la seconde hypothèse, à savoir que la cause du rhythme réside dans les fibres nerveuses. Mais comment l'impulsion du principe nerveux, dans les parties auxquelles le grand sympathique distribue ses filets, observe-t-elle un rhythme? J. Müller (1) l'explique par la présence des ganglions qui se trouvent sur le trajet des filets nerveux. Ces ganglions ont été comparés à des demi-conducteurs du fluide nerveux; l'irritation du ganglion cœliaque ne se transmet elle-même, ainsi que nous l'avons vu, que lentement au canal intestinal. Les nerfs du grand sympathique seraient donc, comme les ganglions appartenant au même système, des demi-conducteurs. D'après cela, on comprendrait que le fluide nerveux s'accumulât dans les ganglions pendant un temps déterminé jusqu'à ce que la

1 *Ouv. cit.*, t. II, p. 64.

somme d'influx nerveux ainsi accumulé l'emportât sur le pouvoir isolant du ganglion. A ce moment seulement le fluide nerveux s'en échapperait, et parcourant les filets nerveux émanés du ganglion, irait porter son action sur les fibres musculaires auxquelles ces derniers se distribuent.

B. — Les mouvements automatiques du système animal, à type intermittent, comprennent les mouvements respiratoires. Il s'agit d'abord de rechercher la portion des centres nerveux qui tient ces mouvements sous sa dépendance, après quoi nous essaierons de pénétrer l'essence de ce mouvement rhythmique.

Enlevez successivement à un jeune chien, par exemple, les lobes cérébraux, les corps striés, les couches optiques, les tubercules quadrijumeaux, le cervelet et la protubérance annulaire ; videz, en un mot, à peu près complétement la cavité crânienne, et vous verrez (le bulbe rachidien et la moelle demeurant intacts) les mouvements de la *respiration* continuer avec une grande régularité. Mais lorsqu'à l'aide de deux sections transversales du bulbe, vous aurez intercepté un segment ou une rondelle renfermant l'origine de la huitième paire avec quelques filets radiculaires du nerf spinal, les mouvements respiratoires s'arrêteront d'une manière brusque, et l'animal périra asphyxié.

Il existe donc, dans les centres nerveux, une partie qui tient sous sa dépendance immédiate le mécanisme respiratoire, et dont la destruction enraie aussitôt le jeu de ce mécanisme.

Ce fait, aussi curieux qu'important, était déjà connu de Galien lui-même (1). Lorry (2), ignorant sans doute l'expérience de Galien, annonce, avec étonnement, le même résultat.

Mais ni Galien, ni Lorry n'avaient rigoureusement délimité cette portion de l'axe cérébro-spinal dont la lésion tue les animaux à l'instant même. Legallois et surtout Flourens ont mis plus de précision dans leurs recherches.

Selon Legallois (3), le premier mobile, le principe de tous les mouvements inspiratoires a son siége vers cet endroit de la moelle allongée (bulbe rachidien) qui donne naissance aux nerfs de la huitième paire. Flourens (4) a démontré que l'organe *premier moteur* du mécanisme respiratoire se trouve à l'origine même de cette paire nerveuse, qu'il commence avec elle et s'étend un peu au-dessous.

Mes propres expériences m'ont conduit à reconnaître que l'organe premier moteur du mécanisme respiratoire n'a pas son siége *dans toute l'épaisseur* de la rondelle ou du segment de bulbe, commençant avec l'origine même de la huitième paire, et finissant un peu au-dessous d'elle. En effet, j'ai pu diviser, détruire, à ce niveau, les pyramides et les corps restiformes, et voir la respiration persister : au contraire, la *destruction isolée du faisceau intermédiaire du bulbe*, au même niveau, *a produit la suspension instantanée de la respiration*. A cette occasion, je ferai remarquer que les corps restiformes et pyramidaux sont exclusivement formés de fibres blanches, remplissant le simple rôle de conducteur des impressions et des ordres de la volonté, tandis que le faisceau intermédiaire (j'appelle ainsi celui qui est situé entre les corps pyramidal et restiforme) est seul pénétré d'une quantité considérable de substance grise, riche en vaisseaux artériels, et

(1) *De anat. administr.*, lib. VIII, cap. IX, p. 696 et 697, édit. de Kühn. Leipsick, 1821.
(2) *Acad. des sc., Mém. des savants étrangers*, t. III, p. 366 et 367.
(3) *Œuv. compl.*, t. I, p. 247 et 259 (Rapport de Percy), avec des notes de Pariset, Paris, 1830.
(4) *Ouv. cit.*, p. 203.

trachée, rupture qui permet une infiltration gazeuse dans le tissu cellulaire interlobulaire, dans le tissu cellulaire qui environne les bronches, dans celui du col. Cet emphysème a été plusieurs fois observé chez des individus qui avaient fait des efforts très grands pour soulever des poids énormes, mais bien plus fréquemment encore chez des femmes tourmentées par les douleurs de l'enfantement.

Il est bien certain que l'occlusion des voies aériennes a lieu dans le larynx par le rapprochement des cordes vocales. Plusieurs faits prouvent la justesse de cette proposition.

Quand on accomplit un effort intense et d'une certaine durée, on entend dans le larynx le petit bruit dont il a été parlé plus haut, et qui est dû au passage d'une certaine quantité de gaz. De plus, on a la conscience de la contraction des muscles constricteurs de la glotte pendant l'effort. Si l'on observe le larynx, on voit qu'il monte, phénomène facile à expliquer, car cet organe se continue avec la trachée dont les parois sont élastiques et se trouve au milieu d'un tissu cellulaire lâche qui en facilite les glissements. Or, la force élastique des gaz enfermés dans les voies aériennes réagit sur tous les points des parties qui les contiennent : elle doit donc pousser en haut le larynx.

L'inspection directe permet de constater que, pendant qu'un animal fait des efforts pour se dégager des étreintes qui le retiennent, les lèvres de la glotte se rapprochent et que cette ouverture se resserre : c'est ce que j'ai constaté chez des animaux sur lesquels, après avoir détaché l'os hyoïde de la base de la langue et saisi le cartilage thyroïde avec une érigne, j'avais porté le larynx en avant en conservant intacts les nerfs laryngés.

Quand une ouverture fistuleuse existe à la trachée-artère, les gaz s'en échappent en sifflant, pendant les efforts. De là, d'après Isid. Bourdon (1), l'impossibilité de vomir chez des chiens qui avaient préalablement pris de l'émétique; ces animaux faisaient des efforts inutiles au milieu de la plus vive anxiété.

Toutefois, je ne saurais admettre que des animaux, ayant une ouverture artificielle de la trachée, soient complétement inhabiles à certains efforts, comme ceux de la course, du saut, etc. J'avais assez largement ouvert la trachée à des chiens sur lesquels je me proposais d'étudier le degré de tension des gaz expirés pendant les cris, en introduisant une canule recourbée dans le tube aérien, à la manière dont Poiseuille a étudié les pressions du sang sur les parois des vaisseaux. Ces mêmes animaux couraient et sautaient avec une étonnante agilité. Un cheval, sur lequel avait été pratiquée la trachéotomie et qu'il m'a été donné d'observer, portait une grosse canule dans la trachée; néanmoins il faisait dans les rues de Paris un exercice fatigant et traînait des voitures pesamment chargées.

Il ne faudrait pourtant pas en conclure que la glotte ne se ferme pas pendant l'effort : on peut expliquer cet apparent démenti donné à la théorie démontrée par Isid. Bourdon (2) et J. Cloquet (3), théorie que l'on doit admettre. L'immobilité du squelette de la poitrine est due, avons-nous dit, à la force expansive des gaz équilibrée par la contraction des muscles expirateurs. Si cette contraction est brusque et énergique, si en même temps, la glotte étant fermée, une ouverture insuffisante laisse échapper les gaz, ou bien si la glotte elle-même, légèrement

(1) *Recherches sur le mécanisme de la respiration et sur la circulation du sang*. Paris, 1820.
(2) *Mém. cit.*
(3) *De l'influence de l'effort sur les organes renfermés dans la cavité thoracique*. Paris, 1820.

entr'ouverte, en fait l'office, ceux-ci s'échappent sans doute, mais en trop faible quantité pour que ceux qui restent dans les cellules pulmonaires ne soient pas comprimés de manière à acquérir une tension suffisante. L'effort est donc possible avec l'issue d'une certaine quantité de gaz dans un temps donné; car les muscles expirateurs ne portent pas à faux la paroi thoracique sur des gaz, lesquels ne peuvent s'échapper avec la même vitesse que la contraction s'opère.

S'il n'en était pas ainsi, comment moduler des sons, produire des cris, faire l'effort de la toux? Pour qu'un effort soit possible, il suffit que l'effet auquel tend la contraction des muscles expirateurs, c'est-à-dire l'issue des gaz, soit contrarié par un rétrécissement assez grand de l'ouverture naturelle ou accidentelle par laquelle ils s'échappent. J'ai pu constater sur les animaux la simultanéité d'efforts énergiques avec l'issue des gaz expirés au travers de la glotte *rétrécie*. J'avais détaché, comme je l'ai dit précédemment, le larynx de la base de la langue et renversé cet organe en avant vers la face antérieure du cou; j'avais successivement coupé l'épiglotte, les replis aryténo-épiglottiques et les cordes vocales supérieures, pour observer les inférieures. Toutes les fois que des pincements étaient pratiqués sur les membres ou que des tiraillements étaient exercés sur le nerf sciatique, l'animal se débattait vigoureusement sous la main des aides; il faisait, en un mot, des efforts évidents, et, pendant ce temps, les lèvres de la glotte se rapprochaient en laissant à l'air une fente étroite pour son passage. Il n'y avait pas occlusion complète.

Il serait donc aussi inexact de dire que, dans l'effort, la glotte est toujours fermée, que de prétendre qu'elle est toujours ouverte. Elle est fermée ou légèrement ouverte, selon la nature et le degré d'intensité de l'effort.

L'occlusion des voies aériennes est aussi, dans quelques cas, transportée plus haut que dans la glotte. J. Cloquet (1) a démontré que le voile du palais ne pouvait concourir à cette occlusion; car il a fait observer qu'on peut, pendant un effort, retenir dans la bouche une certaine quantité de fumée et la faire passer par les fosses nasales en comprimant les joues ou en resserrant les parois de la cavité buccale. C'est au niveau des narines et de l'ouverture antérieure de la bouche que l'occlusion peut être simultanément transportée. Quand on veut se moucher avec force, la contraction de l'orbiculaire des lèvres ferme la bouche, tandis qu'un pincement exercé par le pouce et l'index sur les ailes du nez adapte celles-ci sur la cloison. La pression excentrique des gaz comprimés par la contraction des muscles expirateurs se fait alors sur une plus grande étendue; elle retentit dans les canaux qui s'abouchent avec la partie supérieure des voies aériennes, la trompe d'Eustache et le canal nasal. Par la trompe d'Eustache, elle s'exerce dans l'oreille moyenne sur la membrane du tympan, qui, au dire de Boyer, pourrait se rompre. En tous cas, cette membrane devient plus convexe en dehors, plus tendue, et il en résulte une surdité momentanée. Cette surdité disparaît si l'on avale de la salive, afin d'exercer ainsi sur la trompe d'Eustache une sorte d'aspiration. Quand le tympan est perforé, le chirurgien utilise cet accident comme moyen de diagnostic. Pendant que le malade fait un effort pour se moucher, les gaz expirés s'échappent en sifflant par le conduit auditif externe, ou en formant comme un râle à grosses bulles, si la caisse et le conduit contiennent une certaine quantité de pus. Dans le

(1) *Mém. cit.*

canal lacrymo-nasal la tension des gaz peut donner lieu à l'emphysème dans les fractures des os voisins avec rupture de la muqueuse : on a même observé, à la suite d'un grand effort pour se moucher, la solution de continuité du sac et un emphysème consécutif. Ce dernier accident est bien plus facile encore après l'introduction de la canule dans le canal nasal selon le procédé de Dupuytren. Un malade, ainsi opéré par Blandin, revint le lendemain de l'opération à l'Hôtel-Dieu, les paupières insufflées, au point qu'il ne pouvait les écarter l'une de l'autre. Il avait fait la veille des efforts fréquents pour se moucher. Le même phénomène se manifeste dans les régions du nez, du front et de la joue, après la solution de continuité des parois des fosses nasales ou des sinus correspondants.

Tout effort est accompagné d'une tendance au resserrement des parois thoraciques et abdominales. Voilà pourquoi les matières contenues dans les réservoirs sont poussées vers les orifices naturels. Ainsi s'opère l'excrétion de l'urine et des matières fécales. Quelquefois des ruptures s'opèrent; mais, dans ces cas, des lésions avaient diminué le degré de consistance normale des tissus. C'est encore par le même mécanisme que s'effectuent des solutions de continuité dans les parois des poches anévrismales.

Les organes contenus dans la poitrine, ou bien plus souvent ceux de l'abdomen, comprimés dans tous les sens, s'échappent au travers de portions de parois trop faibles pour les contenir. Ce déplacement est encore favorisé par le surtout séreux qui rend leur surface lisse et par l'attitude particulière que prend le tronc dans quelques efforts. On s'explique ainsi la fréquence des hernies abdominales. Quand une partie de la paroi thoracique est devenue peu résistante à la suite d'une plaie ou d'un abcès, la force élastique des gaz renfermés dans les poumons pousse l'écorce pulmonaire en dehors, et il se forme ce qu'on appelle une hernie du poumon (1). Les développements que nous avons donnés à l'explication de l'action excentrique de ces gaz sur les parois rendent facile à comprendre comment les hernies pulmonaires doivent augmenter de volume pendant l'expiration et tous les efforts, et diminuer, au contraire, dans l'inspiration.

Pendant que les cellules pulmonaires se déploient et que les poumons sont comprimés, le sang dont ces organes sont remplis est nécessairement exprimé et refoulé dans les cavités droites et les cavités gauches du cœur par les veines et les artères pulmonaires. De là, une contraction tumultueuse des ventricules qui tendent à se débarrasser du sang qu'ils renferment. Il en résulte que, dans les premiers instants d'un effort, le sang est projeté, par des contractions fréquentes du cœur, de l'aorte vers les capillaires, et qu'en même temps le sang veineux stagne dans les cavités droites, dans les veines caves, et, en un mot, dans tout le système veineux. Les capillaires sont donc hypérémiés sous l'influence de cette double cause. Voilà pourquoi des congestions s'opèrent, des apoplexies peuvent se faire dans le cerveau; pourquoi la face devient rouge, turgide, la conjonctive ecchymosée, la sécrétion lacrymale abondante. Bientôt les cavités gauches ne recevant plus de sang, le pouls devient petit, irrégulier. On prétend même que, l'effort durant trop longtemps, la mort peut survenir par *asphyxie*, ce qui me paraît bien difficile à admettre, vu le besoin impérieux d'inspirer de l'air qui se fait sentir et la faculté que

(1) Consultez : J. CLOQUET, *mém. cit.* — MOREL-LAVALLÉE, *Sur les hernies des poumons*. Dans *Mém. de la Soc. de chir. de Paris*, 1847. — JARJAVAY, *De l'influence des efforts sur la production des maladies chirurgicales* (thèse d'agrégation). Paris, 1847.

chacun possède de mettre un terme à la contraction des muscles expirateurs. C'est seulement dans les efforts involontaires que l'accident pourrait avoir lieu, et encore ici les causes de mort sont si diverses, que le fait seul de l'effort en saurait bien difficilement être considéré comme l'agent immédiat. On a vu quelquefois la rupture des veines caves ou des parois des cavités droites du cœur avoir lieu à la suite de la stase du sang dans leur intérieur.

DE LA LOCOMOTION (1).

La *locomotion* est la fonction par laquelle un être animé déplace son corps et le transporte volontairement d'un lieu à un autre, soit à l'aide de la marche, de la course ou du saut, soit par le moyen du vol, de la reptation ou de la natation.

Les muscles sont les organes actifs, les vraies puissances de la locomotion. Ses organes passifs, chez les animaux vertébrés, sont les divers os du squelette reliés les uns aux autres par des articulations qui permettent l'exécution de mouvements angulaires très étendus dans certains sens et très limités dans d'autres.

Les relations des muscles avec les os, la configuration des surfaces articulaires en contact, et la disposition des trousseaux ligamenteux qui servent de moyens d'union aux différentes pièces osseuses, tels sont les éléments à l'aide desquels il est possible d'expliquer le mécanisme des attitudes que l'homme et les animaux supérieurs peuvent prendre, soit d'une manière passagère, soit d'une manière permanente, et celui des mouvements si variés qu'il leur est donné d'accomplir dans les divers genres de locomotion. Mais, avant de procéder à cette étude, il ne sera pas inutile de rappeler ici, en peu de mots, les principes élémentaires de mécanique, dont la connaissance est indispensable pour comprendre l'histoire de la locomotion.

Principes de mécanique applicables à l'étude de la locomotion.

On appelle *force*, en mécanique, une cause quelconque de mouvement. Ainsi un choc est une force; l'expansion d'un gaz ou d'une vapeur est une force; l'attraction exercée par un aimant sur un morceau de fer est une force; le raccourcissement d'un muscle fixé par ses deux extrémités à deux os articulés peut leur imprimer un mouvement angulaire, c'est une force.

(1) Consultez : BORELLI, *De motu animalium*, la Haye, 1743, in-4. — FABRICE D'AQUAPENDENTE, *De gressu*, p. 332; *De volatu*, p. 372; *De natatu*, p. 377; *De reptatu*, p. 379. Dans *Op. omn. anat. et physiol.*, in-4. Leyde, 1738. — HUBER (de Genève), *Observ. sur le vol des oiseaux de proie*, in-4. Genève, 1781. — EMM. WEISS, *Sur le mouvement progressif de quelques reptiles*. Dans *Act. soc. helvet.*, t. III, p. 373-390. — BARTHEZ, *Nouvelle mécanique des mouvements de l'homme et des animaux*. Carcassonne, 1798, in-4. — COMPARETTI, *Dynamique animale des insectes* (en italien), in-8. Padoue, 1800. — RICHERAND. Dans *Mém. de la Soc. méd. d'émul.*, t. III, p. 161, an VIII. — FUSS. Dans *Nov. act. Soc. sc. Petrop.*, XV, 1806. — SILBERSCHLAG. Dans *Schriften der Berl. Gesellsch. naturf. Freunde*, 1784, t. III. — HORNER, dans GEHLER, *Physik. Wœrterbuch*, t. IV, p. 477. — TREVIRANUS. Dans *Zeitschrift für Physiol.*, t. IV, p. 87. — ROULIN, *Rech. théoriques et expérim. sur le mécanisme des mouvements et des attitudes de l'homme*. Dans *Journ. de physiol. expérim.*, t. Ier, p. 209, 301; t. II, p. 45, 156, 283. Même *Rec.*, t. VI, p. 14. — CHABRIER, *Mém. sur les mouvements progressifs de l'homme et des animaux*. Dans *Journ. des progrès des sc. méd.*, t. X, XI, XII. — Le même, *Essai sur le vol des insectes*. Dans *Mém. du muséum d'hist. nat.*, t. VI, VII, VIII. — GÉRDY. *Sur le mécanisme de la marche de l'homme*. Dans *Journ. de physiol. expérim.*, 1829, t. IX, p. 1. — Le même, *Physiol. médic.*, t. I, 2e part. Paris, 1832. — E. et WILH. WEBER, *Mechanik der menschlichen*, etc. Gœttingue, 1836. — Les mêmes, *Traité de la mécanique des organes de la locomotion, trad. par Jourdan*, avec atlas. Paris, 1843. — MAISSIAT, *Études de physique animale*, avec *trois pl. et une tab.*, in-4. Paris, 1843.

Deux forces sont dites *égales* quand, agissant en sens inverse l'une de l'autre sur un même point parfaitement libre, elles se font équilibre. Par suite, une force double, triple, etc., d'une autre, sera une force provenant de la réunion de deux, trois, etc., forces égales à celle-ci.

On appelle *résultante* toute force unique capable de produire, sur un corps, un effet d'égale intensité et de même direction qu'un système de forces qui actuellement le sollicitent en même temps. Celles-ci sont dites les *composantes* de la force unique ou résultante qui peut les remplacer.

Il y a *équilibre*, toutes les fois que l'effet final d'un système de forces appliquées à un corps est nul. Si le corps est libre, une quelconque de ces forces est égale et directement opposée à la *résultante* de toutes les autres. Si, au contraire, le corps est appliqué sur un point, une ligne ou une surface fixes, il faut, pour qu'il y ait équilibre, que la *résultante* de toutes les forces passe par le point, la ligne ou la surface; et, dans le cas de la ligne ou de la surface fixe, il est nécessaire, en outre, que la direction de la résultante leur soit perpendiculaire, sans quoi il y aurait glissement possible le long de cette ligne ou de cette surface.

Le *centre de gravité* d'un corps est le point d'application de la résultante de toutes les actions de la pesanteur sur chacune des molécules de ce corps. Tout corps soutenu par son centre de gravité est nécessairement en équilibre. Un corps pesant, reposant sur une ligne ou une surface, est en équilibre quand la verticale, passant par son centre de gravité, tombe perpendiculairement sur *sa base de sustentation*, c'est-à-dire sur la partie de ligne ou de surface comprise entre les points sur lesquels il repose.

Un corps pesant est en *équilibre stable* sur sa base de sustentation, quand il est placé de telle façon que tout faible déplacement qui lui est communiqué soulève nécessairement son centre de gravité. En effet, le centre de gravité tendant toujours à gagner la position la plus déclive, le corps déplacé reviendra, par une série d'oscillations, à sa situation primitive.

Quand, au contraire, un faible déplacement communiqué à un corps sur sa base de sustentation abaisse son centre de gravité, ce corps est en équilibre *instable* ou *instantané*. Par suite, en effet, de la tendance du centre de gravité vers une position plus déclive, le corps une fois déplacé continuera à se mouvoir jusqu'à ce que le centre de gravité soit le plus bas possible, et ne reviendra pas à sa position primitive.

Un *levier* est une ligne rigide, inflexible et inextensible, pouvant tourner librement autour d'un point fixe. Bien que les os, organes passifs de la locomotion, ne soient ni inflexibles ni inextensibles, dans toute la rigueur du mot, cependant, sous les faibles charges qu'ils supportent, on peut les considérer comme remplissant les conditions du levier tel qu'on le définit en mécanique.

La position du point d'appui, par rapport à la puissance et à la résistance, est fort importante et sert à distinguer trois genres de leviers.

Dans le levier du premier genre, le point d'appui est placé entre la puissance et la résistance.

Dans le levier du deuxième genre, ou inter-résistant, le point d'appui est à l'une

des extrémités du levier, et la résistance est appliquée entre la puissance et le point d'appui.

Dans le levier du troisième genre, ou inter-puissant, le point d'appui est aussi placé à l'une des extrémités du levier, mais alors c'est la puissance qui est placée entre la résistance et le point d'appui.

On appelle *bras de levier de la puissance* la partie de levier comprise entre le point d'appui et le point d'application de la puissance ; *bras de levier de la résistance*, la partie de levier comprise entre le point d'appui et le point d'application de la résistance.

Dans le levier du premier genre, le bras de levier de la puissance peut être égal à celui de la résistance, il peut être plus long ou plus court, suivant que le point fixe est placé au milieu de la longueur du levier tout entier, ou plus près ou plus loin du point d'application de la résistance.

Dans le levier du deuxième genre, le bras de levier de la puissance est toujours plus long que celui de la résistance.

Dans le levier du troisième genre, le bras de levier de la puissance est toujours plus court que celui de la résistance.

Le maximum d'effet obtenu a lieu quand les forces sont perpendiculaires à leurs bras de levier ; l'effet est d'autant moindre, que la direction des forces est plus oblique par rapport au bras de levier.

Dans le cas où la résistance et la puissance sont parallèles, il faut, pour l'équilibre, que la puissance et la résistance soient en raison inverse de leurs bras de levier. Par conséquent, un levier du premier genre ne favorise ni la puissance ni la résistance, quand le point fixe est au milieu de sa longueur ; il favorise au contraire la puissance ou la résistance suivant que le point fixe se rapproche de la résistance ou de la puissance. Un levier du deuxième genre favorise toujours la puissance. Un levier du troisième genre favorise toujours la résistance.

Dans le cas où la puissance et la résistance ne sont pas parallèles, il suffit et il faut, pour que l'équilibre existe, que les forces soient en raison inverse des longueurs des perpendiculaires abaissées du point fixe sur les directions de ces forces.

Un corps est dit *en mouvement*, quand ses molécules occupent successivement des points divers de l'espace.

Le mouvement est *uniforme*, quand le corps parcourt des espaces égaux en temps égaux ; il est *accéléré* ou *retardé*, quand les espaces parcourus en temps égaux augmentent ou diminuent successivement d'étendue.

Dans le *mouvement uniforme*, on appelle *vitesse* l'espace parcouru par le corps dans l'unité de temps, ou plus généralement le rapport qui existe entre l'espace parcouru par le corps et le temps employé à le parcourir. Ainsi, un corps qui parcourt d'un mouvement uniforme 12 mètres en trois heures, se déplace nécessairement de 4 mètres par heure. La vitesse est donc 4 qui exprime l'espace parcouru dans l'unité de temps ou le rapport de 12 à 3. Par la même raison, un corps qui parcourrait 18 mètres en trois heures, aurait une vitesse représentée par 6 ; tandis qu'un corps qui ne parcourrait que 9 mètres en trois heures n'aurait que 3 pour vitesse.

La matière est inerte, c'est-à-dire persévère indéfiniment dans son état de repos ou de mouvement, tant qu'une force étrangère ne vient pas la solliciter. Il suit de là que l'effet produit par une force agissant sur un corps dépend de l'intensité

de la force et de la masse du corps. Le produit de la vitesse imprimée au corps par sa masse est ce qu'on appelle la *quantité de mouvement*. Cette quantité de mouvement est la véritable mesure de la force employée.

La résistance qu'on est obligé de vaincre, ou bien l'effort qu'il faut produire pour faire glisser un corps sur une ligne, sur un plan ou sur une surface quelconque, est ce qu'on appelle le *frottement*.

Organes de la locomotion.

Muscles.

Ce n'est pas le lieu d'étudier les muscles en tant qu'organes doués de contractilité ; cette étude a déjà été faite précédemment. Quant aux rapports des muscles avec les leviers osseux, peu de mots suffiront pour résumer ce qu'il est nécessaire d'en savoir.

En général, l'insertion des tendons se fait de telle sorte que les axes de traction des muscles sont fort inclinés par rapport aux bras de leviers sur lesquels ils agissent, et nous avons déjà vu que cette disposition entraîne une perte considérable de force. Cependant, dans bien des circonstances, les axes des muscles et les leviers se rencontrent sous des angles plus favorables à la force agissante : il nous suffira de citer la direction des muscles du dos par rapport aux apophyses transverses et épineuses, des masséters par rapport à la mâchoire inférieure, et surtout des jumeaux et des soléaires relativement au calcanéum. Il faut noter d'ailleurs que, dans le cas où le tendon d'un muscle fléchisseur passe librement par-dessus l'articulation qui doit devenir le centre du mouvement, souvent, à mesure que la flexion s'opère, l'angle très aigu, formé à l'origine du mouvement par l'axe de traction et le levier, augmente graduellement de manière à rendre de plus en plus efficace l'effort musculaire exercé. C'est le cas du biceps relativement au cubitus dans le mouvement de flexion de l'avant-bras sur le bras.

Quelques muscles offrent une disposition particulière. Leurs tendons, avant de s'insérer sur les os qu'ils doivent mouvoir, se réfléchissent sur des espèces de poulies osseuses ou ligamenteuses : tels sont les muscles de la jambe qui, avant de s'insérer au pied, se réfléchissent derrière les malléoles. Dans ce cas, l'effort exercé par la contraction du corps charnu du muscle agit tout entier dans la direction de la portion de tendon comprise entre le point de réflexion et le point d'insertion, quand c'est le point de réflexion qui est fixe. Quand au contraire le point d'insertion devient fixe et le point de réflexion mobile, alors la contraction musculaire se transforme en une pression qui tend à mettre le point de réflexion en mouvement dans l'angle formé par la direction du corps du muscle avec le tendon réfléchi. Prenons, pour exemple, les muscles dont les tendons passent derrière les malléoles : si le pied est libre et le bas de la jambe fixe, la contraction simultanée de ces muscles produit tout simplement l'extension du pied sur la jambe ; si au contraire le pied est appliqué à terre, la contraction simultanée de tous ces muscles exerce sur les deux malléoles une forte pression, d'arrière en avant et de bas en haut, qui vient en aide à l'action des jumeaux et du soléaire, pour détacher le talon du sol,

par le sang artériel sur le bulbe, qui donnerait lieu aux décharges du principe nerveux qui anime les muscles de la respiration.

2° Comment peut-on se rendre compte du rhythme des mouvements respiratoires, ou, en d'autres termes, comment l'excitation continue du bulbe rachidien par le sang artériel, qui lui arrive incessamment, produit-elle une décharge périodique du principe nerveux du bulbe? Nous entrons ici dans le champ des hypothèses.

(*a*) On pourrait admettre qu'il y a dans le bulbe rachidien un pouvoir isolant analogue à celui des ganglions du grand sympathique, et que ce pouvoir isolant empêche le principe nerveux de se décharger à mesure qu'il est produit par l'action que le sang artériel exerce sur la substance nerveuse. Le principe ou l'influx nerveux s'accumule jusqu'au moment où il surmonte la résistance du corps isolant qui le retenait, et fait alors irruption dans les nerfs respiratoires pour faire contracter les muscles auxquels ces nerfs se distribuent.

(*b*) On pourrait encore supposer que l'aptitude d'un nerf à conduire le principe nerveux, ou l'aptitude des muscles à se contracter sous l'influence de ce principe, est limitée et cesse au bout d'un certain temps, jusqu'à ce qu'elle se soit rétablie par le travail de la vie dans les vaisseaux capillaires. Ce qui paraîtrait favorable à cette opinion, c'est que l'inspiration ou la contraction des muscles inspirateurs, aussi bien que l'expiration, c'est-à-dire la contraction des muscles expirateurs, sont limitées. Toutefois, cette opinion ne s'harmonise pas avec ce qui se passe dans les autres muscles, dont la contraction peut être soutenue pendant un temps assez long. Ce qui prouve, au surplus, que ces deux théories sont insuffisantes, c'est que, après une longue inspiration volontaire, on éprouve non seulement un épuisement des muscles inspirateurs, mais le besoin d'exercer un autre effort en sens inverse. Il en est de même après une longue expiration. Cette dernière considération a donc suggéré une autre hypothèse.

(*c*) La cause de l'alternance des mouvements respiratoires est dans le besoin d'expirer l'air imprégné d'acide carbonique. Rappelons ici l'expérience précitée de la section des nerfs vagues et des laryngés supérieurs. Après cette opération, pour beaucoup de physiologistes, toute sensation respiratoire serait abolie; et pourtant les mouvements rhythmiques de la respiration persistent.

(*d*) Je ne ferai que mentionner une quatrième hypothèse, dans laquelle on admet que le rhythme des mouvements respiratoires dépend de la différence que le resserrement et l'ampliation de la poitrine apportent dans la plénitude des gros troncs veineux et des veines du cerveau.

On voit que, dans l'état actuel de la science, il est impossible de préciser la véritable cause des décharges périodiques et alternatives du principe nerveux vers les nerfs qui animent les muscles inspirateurs et expirateurs. Tout ce que l'on peut affirmer, c'est que le bulbe rachidien est le foyer central des divers mouvements respiratoires.

C. — J. Müller (1) admet, parmi les mouvements automatiques du système animal à type continu, les mouvements des sphincters, qui, suivant lui, sont dans un état de contraction permanente. Le resserrement de ces muscles étant plutôt le résul-

(1) *Ouv. et l. cit.*, p. 73.

tat de cette propriété qu'on appelle *tonicité* que d'une véritable contraction, nous n'y insisterons pas davantage.

V. Nous avons parlé précédemment des muscles congénères et des muscles antagonistes. Ces derniers jouent un rôle dans divers mouvements qu'ils peuvent déterminer et que le physiologiste allemand a désignés sous le nom de *mouvements par antagonisme*. Ces sortes de mouvements ont lieu quand certains muscles sont paralysés: la tonicité, qui est alors mise en jeu dans les antagonistes de ceux-ci, les fait revenir sur eux-mêmes, c'est-à-dire rapproche leurs points d'attache, et conséquemment imprime aux organes auxquels ils s'insèrent des mouvements. C'est ainsi que, dans l'hémiplégie faciale, la commissure labiale est déviée. C'est ainsi encore qu'après l'extirpation de la partie moyenne de la mâchoire inférieure, l'os hyoïde et la langue sont tirés en arrière, le premier par le stylo-hyoïdien, la seconde par le stylo-glosse; les muscles digastriques, mylo-hyoïdiens, génio-hyoïdiens, génio-glosses ayant été coupés.

Si l'on envisage la disposition générale des muscles des membres, on reconnaît que ces muscles forment des groupes antagonistes; fléchisseurs et extenseurs, supinateurs et pronateurs, abducteurs et adducteurs, rotateurs en dehors et rotateurs en dedans, s'opposent mutuellement leur action réciproque. Certains muscles ont des antagonistes faibles ou en manquent. Ainsi les rotateurs en dehors de la cuisse sont nombreux : les fessiers, les obturateurs, le pyramidal, les jumeaux, le carré crural, forment ce groupe; comme rotateurs en dedans, on ne trouve que le moyen fessier, une portion du petit, et peut-être le *fascia lata*.

Une loi assez constante, sinon générale, est que des nerfs différents se distribuent à des muscles antagonistes. Ainsi les fléchisseurs de la main et des doigts sont animés par les divisions du nerf cubital et du nerf médian; les extenseurs de la main et des doigts par le nerf radial, les fléchisseurs de l'avant-bras par le nerf musculo-cutané, les extenseurs de l'avant-bras par le nerf radial.

Cependant il arrive parfois qu'un même nerf tient sous sa dépendance des muscles antagonistes : ainsi le nerf sciatique poplité externe fournit aux muscles péroniers qui élèvent le bord externe du pied, et au jambier antérieur qui en élève le bord interne; le moteur oculaire commun, aux muscles élévateur et abaisseur du globe de l'œil; le nerf récurrent aux muscles constricteurs et dilatateurs de la glotte, etc.

VI. *Des mouvements réflexes.* — Une impression faite à nos organes peut, en parcourant des voies différentes dans la masse cérébro-spinale, donner lieu à des mouvements de nature distincte. Ainsi, tantôt transmise à l'encéphale directement par les nerfs sensitifs crâniens, ou indirectement par l'entremise de la moelle épinière et des racines spinales postérieures, elle va s'élaborer dans la région encéphalique où réside le *sensorium commune*, s'y transforme en sensation, et, par conséquent, arrive à la connaissance de l'animal qui peut réagir par des mouvements *volontaires* : tantôt, également transmise par les nerfs sensitifs, soit à une partie déterminée de l'encéphale, soit à la moelle épinière, cette impression occasionne, sans se transformer nécessairement en sensation, une incitation immédiatement réfléchie sur les nerfs moteurs; d'où des mouvements dits *réflexes*, à la production desquels la volonté ne prête plus son concours.

La puissance, qui donne ainsi lieu à des mouvements sans la participation de la

volonté, a été considérée comme une faculté spéciale de l'axe cérébro-rachidien, et désignée sous les noms de *pouvoir réflexe*, *faculté* ou *propriété excito motrice*.

Aucun expérimentateur n'a reconnu plus souvent que Legallois que ces sortes de mouvements disparaissent par la destruction de la moelle, dont le concours, comme organe central, est par conséquent indispensable à l'action réflexe des nerfs sensitifs sur les nerfs moteurs, d'après l'expression de Prochaska.

Dès 1823, Herbert-Mayo (1) avait reconnu que les phénomènes réflexes ne sont pas restreints à la moelle et aux nerfs spinaux, mais qu'ils peuvent se manifester, par l'entremise des masses encéphaliques et des nerfs sensoriels cérébraux, à la suite de véritables sensations. Ce physiologiste a démontré, en effet, qu'après la section du nerf optique, toute excitation mécanique du bout cérébral de ce nerf, chez l'animal vivant, est accompagnée de mouvements de la pupille. Or, on sait que la section de cette paire nerveuse, dans l'extirpation de l'œil chez l'homme, fait apercevoir au malade des masses considérables de lumière : la précédente expérience fournit donc un exemple de mouvement involontaire réflexe succédant à une sensation, et dans lequel l'encéphale lui-même sert d'intermédiaire entre l'excitation sensorielle ou centripète et l'excitation motrice ou centrifuge. C'est d'ailleurs un phénomène du même ordre qu'on observe à l'état normal, toutes les fois que la lumière vient à impressionner la rétine elle-même.

Quant au pouvoir réflexe de la moelle épinière, Herbert-Mayo (2) s'énonce ainsi : « Si l'on divise la moelle au milieu du cou, et qu'on fasse une seconde section au milieu du dos, on produit une contraction musculaire en irritant un organe sensitif lié avec l'un ou l'autre segment isolé; si l'on pique la plante du pied, le pied se retire brusquement, de la même manière que cela eût eu lieu pendant la vie, c'est-à-dire qu'un organe sensitif est excité, et qu'une irritation se propage au moyen du nerf sensitif jusqu'au segment isolé de la moelle épinière, où elle donne lieu à un changement suivi d'une impulsion propagée le long des nerfs de la volonté jusqu'aux muscles de la partie correspondante. »

On a vu déjà que ces actes consistent en ce qu'une excitation quelconque, émanée d'un organe de l'économie, et transmise par des fibres nerveuses sensitives, soit à la moelle épinière, soit à l'encéphale, se *réfléchit*, par l'entremise de ces centres nerveux, sur des fibres nerveuses motrices, pour donner lieu à des mouvements dits réflexes, auxquels la volonté reste complétement étrangère. Or, ces sortes de mouvements, qui ont, de plus, pour caractère de ne se produire, en général, qu'à la suite de la stimulation des nerfs sensitifs (3), peuvent se manifester, soit dans les muscles de la vie animale, soit dans ceux de la vie organique; ce qui nous oblige, par conséquent, à les examiner dans ces deux cas. Après un pareil examen, on comprendra facilement toute l'importance du rôle que joue, dans l'accomplissement de certains phénomènes de la vie, l'aptitude de l'axe cérébro-spinal à produire des décharges motrices involontaires.

Dans les mouvements réflexes des muscles de la vie animale, comme dans ceux des muscles de la vie organique, l'excitation centripète, propagée à l'encéphale ou à la moelle épinière, peut prendre naissance, soit dans les nerfs cérébro-rachidiens, soit

(1) *Anat. and physiol. commentaries*. Londres, 1823.

(2) *Ouv. cit.*, 3e édit., p. 230.

(3) *Toutefois*, le bâillement et le vomissement peuvent avoir lieu par cela seul qu'on voit ou *qu'on entend* quelqu'un bâiller ou vomir. Après avoir éprouvé violemment le mal de mer, il m'est *arrivé, pendant* plusieurs jours, de vomir au seul souvenir des angoisses que j'avais endurées.

dans les nerfs de la vie organique, et, dans l'un ou l'autre cas, suivant qu'elle arrive ou non jusqu'au siége du *sensorium commune*, devenir sensation ou ne pas prendre ce caractère. Je ne partage donc pas l'opinion de ceux qui prétendent que les mouvements réflexes ne sont jamais précédés de sensations, et je me range à l'opinion contraire de Prochaska, dont la vérité est surabondamment démontrée par l'observation des faits. Du reste, j'abandonnerai au lecteur la tâche facile de reconnaître, parmi les effets réflexes qui vont être signalés, ceux qui ont lieu avec ou sans l'intervention du *sensorium commune*.

1° *Mouvements réflexes des muscles de la vie animale, succédant à l'irritation des nerfs sensitifs céphalo-rachidiens.* — Quand, à l'aide d'une section transverse pratiquée au niveau de la région dorsale, on a complétement divisé une grenouille ou une salamandre, si l'on vient à stimuler les téguments des membres abdominaux, ceux-ci exécutent encore des mouvements plus ou moins énergiques. Mais ce phénomène intéressant ne se manifeste qu'autant que, dans le train postérieur de l'animal, existe un tronçon de moelle épinière; il cesse aussitôt que ce dernier est détruit : preuve évidente que de pareils mouvements ne sauraient provenir d'un conflit entre les fibres sensitives et les fibres motrices des nerfs eux-mêmes, et que la moelle est réellement douée d'un pouvoir moteur involontaire.

La simple décapitation, avec soustraction du bulbe rachidien et abolition des mouvements respiratoires, ne doit donc pas non plus empêcher les quatre membres de se mouvoir isolément ou simultanément, chaque fois qu'une irritation suffisante impressionne l'enveloppe cutanée. En effet, dans la première période de l'empoisonnement par le chlorhydrate de strychnine, même chez des mammifères, j'ai pu souvent constater que, si le plus léger attouchement de leur surface tégumentaire occasionne des secousses convulsives, celles-ci n'offrent pas une moindre intensité après la décapitation, tandis qu'elles se suppriment instantanément par la destruction de la moelle spinale.

Ainsi, nous voyons le système musculaire de la vie de relation accomplir des mouvements généraux ou partiels sous l'influence d'une force autre que la volonté, puisque l'encéphale, sans lequel un acte volontaire quelconque ne saurait se produire, peut être détruit sans que les mouvements précédents cessent d'avoir lieu.

Ajoutons que, quand bien même l'encéphale existe, et, avec lui, la volonté, des mouvements réflexes peuvent survenir nécessairement, c'est-à-dire en dépit de la résistance volontaire que l'individu oppose à leur manifestation. Tels sont, parmi les effets réflexes de la catégorie dont nous nous occupons, ceux qui suivent :

Après l'immersion prolongée dans un bain froid, surviennent un claquement des dents, un tremblement général que la volonté est inhabile à maîtriser. Celle-ci ne peut davantage empêcher le mouvement spasmodique de la glotte, quand une goutte de liquide ou une parcelle d'aliment tombe dans le vestibule sus-glottique; la toux, quand la muqueuse respiratoire est vivement stimulée par une cause quelconque; l'éternument, après l'excitation directe de la membrane pituitaire. La volonté ne saurait non plus, au delà d'un certain laps de temps, retarder ni les mouvements respiratoires, ni le clignement, qu'il soit dû à l'action d'une lumière trop intense sur la rétine ou d'un excitant quelconque (l'air, les larmes, etc.) sur la conjonctive; ni la contraction des muscles du périnée, lorsque, dans le coït, l'excitation voluptueuse des nerfs du pénis a atteint un certain degré. Que peut encore la volonté sur les spasmes et le tremblement qui s'emparent d'un membre après une brûlure, *après l'application* d'un moxa; sur le tétanos qui succède à la

marche, le membre inférieur détaché du sol ne pèse pas sur le bassin, et que la pression atmosphérique, sans contraction musculaire, suffit seule pour retenir la tête du fémur dans son articulation. Ainsi, dans les divers temps de la progression, le membre inférieur peut osciller dans un plan vertical d'arrière en avant, comme un véritable pendule, et la tête du fémur n'exerce aucun frottement contre les parois de la cavité cotyloïde qu'elle n'abandonne jamais.

Quelle que soit la mobilité de l'articulation coxo-fémorale, elle n'est pourtant la même ni dans toutes les directions, ni dans toutes les positions affectées. C'est là un élément important de l'histoire de la locomotion, et c'est surtout l'appareil ligamenteux qui sert à limiter cette mobilité aux proportions exigées par les fonctions de cette articulation dans le sens de l'adduction et de l'extension.

La membrane capsulaire faisant corps avec le *ligament supérieur* qui se fixe au col du fémur, l'extension ne peut se faire sans que tout cet ensemble ligamenteux éprouve un mouvement de torsion qui tend à appliquer la tête du fémur plus fortement contre le fond de la cavité cotyloïde. Mais, à mesure que l'extension augmente, la torsion augmente aussi et ne tarde pas à devenir assez considérable pour rendre le mouvement articulaire impossible. Dans ce sens, les parties fibreuses de l'articulation offrent une résistance très considérable, car le ligament supérieur est le plus fort de l'économie. D'ailleurs, la bande fibreuse décrite par Maissiat (1) sous le nom de *iléo-trochantéro-tibiale* vient en aide au ligament supérieur, et concourt puissamment à limiter le mouvement d'extension du membre inférieur. Nous verrons plus tard que ces circonstances jouent un grand rôle pour empêcher le renversement du tronc en arrière dans la station verticale.

Lorsque l'homme est debout, le mouvement d'adduction du membre inférieur est très limité. On peut amener les genoux au contact, mais on ne peut pas les presser l'un contre l'autre sans fléchir l'articulation coxo-fémorale. Par conséquent, dans la station verticale, la flexion latérale de cette articulation n'est possible que dans des limites très peu étendues, ce qui favorise singulièrement l'équilibre du tronc dans cette position. Ce résultat est dû à la résistance de deux ligaments : le *ligament supérieur* et le *ligament rond*. Ce mouvement d'adduction, en effet, dans la station verticale, détermine une traction du ligament supérieur, dont la grande résistance et la faible extensibilité ne tardent pas à rendre ce mouvement impossible. Quant au ligament rond, E. Weber (2) a démontré qu'il est enroulé autour de la tête du fémur, dans un plan vertical passant par le centre de la cavité articulaire. Par conséquent, dans le mouvement d'adduction, son insertion sur la tête du fémur tend à se relever, et lui-même est, comme le ligament supérieur, soumis à une traction longitudinale. Mais quand l'homme est assis, l'articulation coxo-fémorale est fléchie, les ligaments rond et supérieur ne sont pas disposés de la même manière par rapport au sens du mouvement, et l'adduction peut s'exécuter dans une étendue beaucoup plus considérable. Dans ce cas, en effet, les deux jambes peuvent non seulement être rapprochées, mais être croisées l'une sur l'autre.

Articulation du genou. — Quoique le genou ne soit pas, à proprement parler, une articulation en charnière, parce qu'il n'y a pas d'axe fixe de rotation, et bien que d'ailleurs, dans la flexion, il y ait possibilité de faire exécuter à la jambe un mouvement de pronation et de supination par rapport à la cuisse, cependant, au point

(1) *Études de physique animale*. Paris, 1843.
(2) *Ouv. cit.*

de vue de la locomotion, on peut considérer cette articulation comme ne permettant que des mouvements d'extension et de flexion sans aucune espèce de déviation latérale, ce qui, d'ailleurs, est vrai quand l'extension est complète.

Dans le mouvement d'extension, les condyles du fémur roulent comme une roue, d'arrière en avant, sur les surfaces presque planes de la tête du tibia; de là résulte que l'attache supérieure des ligaments latéraux monte, et que ces ligaments sont tiraillés dans le sens de leur longueur, à mesure que l'extension devient plus considérable. Tant que le mouvement d'extension est modéré, le ligament croisé antérieur est seul tendu; mais à un degré plus avancé, le ligament croisé postérieur est aussi tendu à son tour; en sorte que, dans l'extension extrême de l'articulation du genou, les quatre ligaments sont tiraillés et concourent à arrêter le mouvement.

Dans le mouvement de flexion, les condyles du fémur roulent d'avant en arrière, les points d'attache supérieurs des ligaments latéraux s'abaissent, tout l'appareil ligamenteux est d'abord relâché. Cependant, le mouvement de flexion continuant, le ligament croisé postérieur ne tarde pas à être tendu, et c'est lui seul ou presque seul qui lutte pour limiter l'étendue de la flexion. Le ligament croisé antérieur est en effet un peu tendu dans la flexion extrême et résiste un peu dans le même sens que le postérieur; mais son action est si faible qu'on peut la négliger.

Articulation du pied. — L'articulation de la jambe avec le pied se fait par l'intermédiaire de l'astragale. Cet os s'articule d'une part avec le reste du pied, et d'autre part avec la partie inférieure de la jambe. Le pied peut se mouvoir sur la jambe dans deux plans verticaux à angle droit, l'un sur l'autre.

Le mouvement exécuté dans le plan vertical antéro-postérieur constitue la flexion et l'extension du pied. Il se passe tout entier dans l'articulation de la partie inférieure de la jambe avec l'astragale.

Le mouvement exécuté dans le plan vertical transversal constitue l'adduction et l'abduction; il se passe tout entier dans l'articulation de l'astragale avec le reste du pied.

Ce dernier mouvement est impossible, ou du moins excessivement limité, quand le pied, posé à terre, supporte le poids du corps, en sorte que, dans la station verticale, l'équilibre du corps, sur cette articulation, est assuré transversalement. Mais la chute du corps peut s'exécuter dans un plan antéro-postérieur, et les ligaments de l'articulation de l'astragale avec la jambe ne peuvent pas s'opposer à ce mouvement; l'équilibre ne peut donc être maintenu dans ce sens que par la contraction musculaire.

Centre de gravité du corps.

A la suite de recherches entreprises dans le but de déterminer la position du centre de gravité du corps de l'homme, Borelli s'est contenté de dire un peu vaguement qu'il était situé *inter nates et pubim.* Dans ces derniers temps, W. Weber (1) a repris cette question et a traité ce point de science avec toute l'exactitude qui caractérise ses travaux de mécanique animale.

D'après W. Weber, le centre de gravité du corps tout entier d'un homme de la taille de $1^{m},669$ est situé à $87^{mm},7$ au-dessus de l'axe de torsion de la hanche, ou bien à $8^{mm},7$ au-dessus du promontoire. Cet habile expérimentateur ne s'est pas

(1) *Ouv. cit.*

contenté de cette première détermination; il a aussi cherché la solution d'une autre question fort importante, celle de la position du centre de gravité du tronc. Opérant toujours sur le même cadavre, il a vu que le centre de gravité du corps, séparé de ses deux membres inférieurs, remontait jusqu'au niveau de l'extrémité inférieure du sternum et de l'appendice xiphoïde.

Ainsi donc, les parties mobiles sur les têtes des fémurs ont leur centre de gravité situé sur une ligne droite menée de l'extrémité supérieure à l'extrémité inférieure du rachis, au niveau de l'appendice xiphoïde. Nous verrons que cette position élevée du centre de gravité du tronc, au-dessus de sa base de sustentation, doit être prise en sérieuse considération pour la détermination des conditions d'équilibre dans la station verticale.

De la Station.

Parmi les modes très nombreux et très variés de station que l'homme peut affecter, nous nous contenterons de faire l'histoire de la station verticale, comme étant la plus importante et la plus caractéristique de l'espèce humaine. Cette station verticale elle-même, nous l'étudierons dans deux circonstances principales : d'abord quand le corps reposant sur les deux fémurs, son poids est transmis également aux deux pieds appuyés sur le sol; en second lieu, quand le poids du corps est porté sur un seul des deux membres inférieurs, le pied du côté opposé, quoique reposant à terre, ne servant que très peu et même pas du tout de moyen de sustentation.

A. *Station verticale à deux pieds.* — Supposons l'homme debout, les deux pieds reposant à terre, les centres des talons écartés de l'espace qui sépare les centres des têtes des fémurs, le genou dans l'extension, de manière que le fémur et le tibia, placés sur une même ligne droite, reposent verticalement sur l'astragale, et que la ligne menée d'une extrémité à l'autre du rachis soit verticale et passe par l'axe de mouvement du bassin sur les fémurs. La verticale menée par le centre de gravité du corps tombera alors au milieu de la ligne qui passe par le centre des articulations astragalo-tibiales, et l'équilibre sera possible.

Les charges que supporte la colonne vertébrale, à gauche et à droite de son axe, sont si exactement équilibrées que, en l'absence d'une cause extérieure de déplacement, rien ne peut troubler l'équilibre dans le sens latéral. Le tronc peut même exécuter sur les jambes des balancements assez étendus de gauche à droite, ou de droite à gauche, sans que l'équilibre soit réellement compromis. En effet, tant que la verticale menée par le centre de gravité du corps ne tombera pas en dehors de l'une des articulations tibio-tarsiennes, le corps reposera solidement sur la base de sustentation. Or, supposons que le déplacement latéral soit assez considérable pour que cette verticale tombe précisément sur une des deux articulations tibio-tarsiennes, le membre inférieur du côté où le déplacement aura été exécuté se sera tout entier incliné en dehors, puisque l'articulation du genou ne se prête à aucune flexion latérale. Mais, dans cette position, le tibia aura atteint la limite des déplacements latéraux possibles sur l'astragale; de plus l'articulation coxo-fémorale sera arrivée à l'adduction extrême, en sorte que les dispositions articulaires et la résistance des ligaments s'opposeront à ce que ce mouvement de balancement aille *plus loin, retiendront* le corps en équilibre dans cette situation extrême, et *rendront impossible* une chute latérale. Dans ce sens donc, les rapports des surfaces

articulaires et la résistance des ligaments suffisent pour maintenir et assurer l'équilibre, sans recourir à la contraction musculaire.

En est-il de même dans le sens antéro-postérieur, dans le cas que nous examinons maintenant, c'est-à-dire lorsque le fémur se trouve exactement dans la direction du tibia, et que les articulations du genou et de la hanche n'ont pas atteint les limites extrêmes de l'extension? Le centre de gravité du tronc, situé au niveau de l'appendice xiphoïde et sur une verticale qui coupe l'axe de rotation du bassin, est en équilibre instable et placé très haut au-dessus de sa base de sustentation. D'ailleurs la flexion et l'extension de l'articulation coxo-fémorale sont très faciles, et la contraction musculaire peut seule empêcher le tronc, légèrement ébranlé, de tomber en avant ou en arrière. Ce que nous venons de dire de l'articulation de la hanche s'applique exactement aux articulations tibio-tarsienne et tibio-fémorale. Cette position serait donc très précaire et extrêmement fatigante, puisque ce serait seulement au moyen de contractions musculaires continuelles que le corps pourrait être maintenu et ramené dans sa position primitive.

Mais que le tronc soit rejeté légèrement en arrière, les articulations du genou et de la hanche étant placées dans leur état d'extension extrême, et cette modification suffira pour rendre la position verticale beaucoup plus stable dans le plan antéro-postérieur et beaucoup moins fatigante à maintenir, sans d'ailleurs altérer ses conditions de solidité dans le sens latéral.

Alors, en effet, la verticale passant par le centre de gravité du tronc placé au niveau de l'appendice xiphoïde tombera un peu en arrière de l'axe de rotation du bassin sur les têtes des fémurs. Le poids du corps tendra donc à accroître l'extension de l'articulation coxo-fémorale et à faire basculer le bassin en arrière, mouvement rendu impossible par la résistance du ligament supérieur et de la bandelette iléo-trochantéro-tibiale. Quant à la chute du tronc en avant, elle ne pourrait se faire sans déterminer préalablement une légère ascension de son centre de gravité, et cette circonstance suffit seule pour l'empêcher. L'équilibre du tronc sur les articulations coxo-fémorales est donc assuré indépendamment de toute contraction musculaire.

Dans cette situation, la verticale menée par le centre de gravité du corps tombera toujours sur le milieu de l'axe de rotation des deux articulations tibio-tarsiennes, mais elle passera un peu en avant des articulations tibio-fémorales. Par rapport aux articulations du genou, considérées comme base de sustentation, le corps a donc une seule tendance très marquée, celle d'une chute en avant; mais ce mouvement n'est plus possible, car l'extension de ces deux articulations est parvenue à ses dernières limites, et la grande résistance de l'appareil ligamenteux suffit pour assurer et maintenir l'équilibre.

Tant que ne surviendra pas une cause extérieure notable de déplacement, le corps sera donc retenu en équilibre sur les articulations de la hanche et du genou, sans fatigue musculaire et par le seul effet de la tension de l'appareil ligamenteux. Mais le poids tout entier est transmis aux articulations tibio-tarsiennes. Ici le renversement est possible et facile dans le plan antéro-postérieur. Les ligaments de cette articulation ne peuvent s'opposer ni à la flexion ni à l'extension, et une fois l'équilibre rompu en avant, et surtout en arrière, la verticale passant par le centre de gravité serait bientôt entraînée, par la continuation du mouvement, en dehors *de la base de sustentation*, et la chute aurait lieu. Les puissances musculaires

contenté de cette première détermination; il a aussi cherché la solution d'une autre question fort importante, celle de la position du centre de gravité du tronc. Opérant toujours sur le même cadavre, il a vu que le centre de gravité du corps, séparé de ses deux membres inférieurs, remontait jusqu'au niveau de l'extrémité inférieure du sternum et de l'appendice xiphoïde.

Ainsi donc, les parties mobiles sur les têtes des fémurs ont leur centre de gravité situé sur une ligne droite menée de l'extrémité supérieure à l'extrémité inférieure du rachis, au niveau de l'appendice xiphoïde. Nous verrons que cette position élevée du centre de gravité du tronc, au-dessus de sa base de sustentation, doit être prise en sérieuse considération pour la détermination des conditions d'équilibre dans la station verticale.

De la Station.

Parmi les modes très nombreux et très variés de station que l'homme peut affecter, nous nous contenterons de faire l'histoire de la station verticale, comme étant la plus importante et la plus caractéristique de l'espèce humaine. Cette station verticale elle-même, nous l'étudierons dans deux circonstances principales : d'abord quand le corps reposant sur les deux fémurs, son poids est transmis également aux deux pieds appuyés sur le sol; en second lieu, quand le poids du corps est porté sur un seul des deux membres inférieurs, le pied du côté opposé, quoique reposant à terre, ne servant que très peu et même pas du tout de moyen de sustentation.

A. *Station verticale à deux pieds.* — Supposons l'homme debout, les deux pieds reposant à terre, les centres des talons écartés de l'espace qui sépare les centres des têtes des fémurs, le genou dans l'extension, de manière que le fémur et le tibia, placés sur une même ligne droite, reposent verticalement sur l'astragale, et que la ligne menée d'une extrémité à l'autre du rachis soit verticale et passe par l'axe de mouvement du bassin sur les fémurs. La verticale menée par le centre de gravité du corps tombera alors au milieu de la ligne qui passe par le centre des articulations astragalo-tibiales, et l'équilibre sera possible.

Les charges que supporte la colonne vertébrale, à gauche et à droite de son axe, sont si exactement équilibrées que, en l'absence d'une cause extérieure de déplacement, rien ne peut troubler l'équilibre dans le sens latéral. Le tronc peut même exécuter sur les jambes des balancements assez étendus de gauche à droite, ou de droite à gauche, sans que l'équilibre soit réellement compromis. En effet, tant que la verticale menée par le centre de gravité du corps ne tombera pas en dehors de l'une des articulations tibio-tarsiennes, le corps reposera solidement sur la base de sustentation. Or, supposons que le déplacement latéral soit assez considérable pour que cette verticale tombe précisément sur une des deux articulations tibio-tarsiennes, le membre inférieur du côté où le déplacement aura été exécuté se sera tout entier incliné en dehors, puisque l'articulation du genou ne se prête à aucune flexion latérale. Mais, dans cette position, le tibia aura atteint la limite des déplacements latéraux possibles sur l'astragale; de plus l'articulation coxo-fémorale sera arrivée à l'adduction extrême, en sorte que les dispositions articulaires et la résistance des ligaments s'opposeront à ce que ce mouvement de balancement aille *plus loin, retiendront* le corps en équilibre dans cette situation extrême, et *rendront impossible* une chute latérale. Dans ce sens donc, les rapports des surfaces

plus longtemps et avec moins de fatigue, pourquoi même, après une longue station sur deux pieds, il y a soulagement véritable à passer à la *station hanchée* sur un seul pied.

Quel que soit, en effet, le genre de station verticale adoptée, la tendance marquée du corps est la chute en avant autour des articulations tibio-tarsiennes. Or, dans la station sur les deux pieds, les puissants muscles du mollet peuvent seuls s'opposer à ce déplacement, ils sont nécessairement en contraction presque permanente, et de cette continuité d'action résulte une fatigue réelle, considérable, inévitable. Au contraire, dans la station sur un pied, le membre inférieur opposé à celui qui supporte le poids est légèrement fléchi et repose à terre dans un plan antérieur. Dans tout déplacement en avant, le corps tombe donc sur ce membre à peu près inactif; et ce membre légèrement fléchi fait l'effet d'un véritable arc-boutant, résiste à cette pression du corps, le maintient dans sa position et même l'y ramène au besoin par une légère contraction musculaire. Cette résistance vient en aide à l'action des muscles du mollet, les soulage en les dispensant d'une contraction aussi persistante et aussi active, et, par cela même, diminue considérablement la fatigue inséparable de la station verticale.

De la Progression.

Dans tout mouvement de progression, le corps de l'homme se divise en deux sections bien distinctes. L'une représente le poids à porter et à mouvoir, elle comprend le tronc, les bras et la tête; l'autre, constituée par les membres inférieurs, supporte le fardeau et lui communique le mouvement de translation. Par leur résistance, leurs changements de longueur et de position, les membres inférieurs jouent alternativement le double rôle d'appuis mobiles qui suivent le tronc dans tous ses déplacements et l'empêchent de tomber, et d'agents d'impulsion qui le sollicitent incessamment et efficacement à avancer dans une direction déterminée.

Les modes de progression les plus importants pour les besoins de locomotion de l'homme à la surface du globe, se réduisent à trois : *la marche*, *la course* et *le trotter*, que nous devons étudier successivement. Avant d'entrer dans les détails de cette analyse, arrêtons notre attention sur quelques faits généraux communs à ces trois modes de progression. Cette exposition préliminaire offrira le double avantage d'introduire quelque clarté dans cette étude déjà si compliquée par elle-même, et de nous permettre d'éviter des redites toujours fatigantes.

Toutes les fois que l'homme se déplace à la surface de la terre, le tronc, appuyé sur les deux têtes des fémurs, s'incline en avant, et cette inclinaison est d'autant plus prononcée que la vitesse du mouvement est plus considérable. Les expériences et les mesures de E. et de W. Weber prouvent que l'inclinaison du tronc sur la verticale est :

Dans la marche la plus lente, de . . .	5° 7′
Dans la marche la plus rapide, de. . .	10°
Dans la course la plus lente, de. . . .	7° 2′
Dans la course la plus rapide, de . . .	22° 5′

Il résulte de cette disposition des parties, que le centre de gravité du corps en

peuvent seules, par leur action, prévenir ces déplacements, les limiter ou les corriger quand ils sont déjà commencés.

Ainsi, dans la station verticale sur deux pieds, l'équilibre de la tête sur la colonne vertébrale est assuré par le jeu des muscles de la région cervicale; les vertèbres sont retenues dans leur position relative par l'élasticité des disques intervertébraux et des ligaments jaunes, et aussi par l'action des muscles du dos. Le rachis est ramené ainsi à la condition d'une verge inflexible appuyée sur le sacrum. Dès lors le tronc étant légèrement porté en arrière, et les articulations de la hanche et du genou ramenées à l'extension extrême, la résistance de l'appareil ligamenteux suffit pour assurer l'équilibre du tronc sur les cuisses, et des cuisses sur les jambes. Le seul axe de rotation autour duquel la chute du corps soit possible est donc celui des articulations tibio-tarsiennes. Là, en effet, ni les surfaces articulaires ni les ligaments ne sont disposés pour s'opposer à une chute du corps en avant ou en arrière. Or, de la situation très élevée du centre de gravité du corps au-dessus de ces articulations, il résulte que tout déplacement détermine un abaissement de ce centre de gravité, et que, par suite, tout déplacement commencé tend par lui-même à continuer, jusqu'à ce que le corps soit ramené à la position horizontale. L'équilibre du corps sur les pieds est donc instable; la contraction musculaire peut seule l'assurer, et c'est dans ce but que la jambe se trouve pourvue de muscles si nombreux et si puissants.

B. *Station verticale naturelle, sur un pied.* — Dans ce genre de station l'homme est, comme on dit vulgairement, en *position hanchée.* Pour fixer les idées, supposons-le appuyé sur le membre droit, ce qui, d'ailleurs, est le cas le plus commun. Le pied droit est fortement appuyé à terre, l'articulation du genou en extension extrême, l'articulation de la hanche ramenée à l'adduction et à l'extension extrêmes. Le corps est légèrement penché à droite et en arrière, le membre inférieur gauche reporté un peu en avant, sensiblement fléchi sur les articulations de la hanche et du genou, repose sur le pied légèrement appuyé à terre. Le poids du corps porte donc à peu près complétement et exclusivement sur le membre inférieur droit. D'ailleurs, la verticale passant par le centre de gravité du tronc tombe un peu en arrière de l'articulation coxo-fémorale droite, et la verticale menée par le centre de gravité du corps passe un peu en avant de l'articulation du genou droit et tombe sur l'articulation tibio-tarsienne du même côté.

Dans le sens latéral, le déplacement est impossible à droite, parce que les trois articulations du membre inférieur ne permettent aucun mouvement de ce genre. A gauche, l'équilibre pourrait être rompu autour de l'articulation coxo-fémorale surtout, mais le membre inférieur gauche, bien que reposant à peu près librement à terre, offre une résistance suffisante pour s'opposer à toute chute de ce côté.

Ce que nous avons dit de la disposition des centres de gravité du tronc et du corps entier, par rapport au membre inférieur droit, indique suffisamment que, dans le plan antéro-postérieur, l'équilibre est assuré autour de l'articulation du genou et de la hanche, par le même mécanisme que nous avons exposé dans la station verticale sur deux pieds. C'est donc seulement autour de l'articulation tibio-tarsienne que le corps peut être entraîné à tomber en avant ou en arrière, et que la contraction musculaire doit intervenir activement pour prévenir et empêcher une chute. Mais, sous ce rapport, le mode de station dont il s'agit a sur le précédent un avantage considérable et qui explique pourquoi il peut être prolongé

genou. La cuisse, représentant un pendule plus court que le membre tout entier, tend à osciller plus vite que la jambe. Dès lors, mécaniquement et sans l'intervention des muscles, l'articulation du genou se fléchit, le talon se relève, le pied quitte le sol, et le membre entier, ainsi raccourci et flottant dans l'air, exécute passivement une oscillation pendulaire dont l'amplitude est double de l'angle qu'il faisait primitivement avec la verticale passant par la tête du fémur, et dont la durée dépend de la longueur qu'il conserve après la flexion de l'articulation tibio-fémorale. Nous verrons plus tard comment, dans les divers modes de progression, ces oscillations pendulaires exécutées par les membres inférieurs exercent la plus grande influence sur la vitesse de déplacement du centre de gravité du corps dans l'espace.

De la marche.

La marche est un mode de progression caractérisé par ce fait, que le corps s'avance sans jamais cesser de s'appuyer sur le sol. Pour bien comprendre le double rôle de colonnes de sustentation et d'agents actifs d'impulsion que jouent les membres inférieurs, il est nécessaire de passer en revue les variations de position et de forme par lesquelles ils passent dans les divers temps des pas successifs dont se compose la marche.

La jambe gauche est placée en avant fortement appuyée sur le sol par toute l'étendue de la plante du pied, l'articulation du genou est légèrement fléchie, le tronc incliné en avant et le centre de gravité du corps plus rapproché de terre que dans la station verticale. Un plan vertical passant par les centres des têtes des fémurs serait situé un peu en arrière du centre de gravité du corps et tomberait sur le talon appuyé contre terre. Il est facile de voir que le membre inférieur gauche a la meilleure disposition possible pour soutenir le poids du tronc.

En même temps, le membre inférieur droit est placé en arrière, incliné à l'horizon, étendu ; le pied droit ne repose plus sur le sol que par les extrémités des métatarsiens et les phalanges, et fait avec l'horizon un angle de 45 degrés. Tout est ainsi disposé pour que la progression commence.

Le pied droit, appuyé contre terre, se relève sur les extrémités des métatarsiens jusqu'à extension complète de l'articulation tarso-tibiale. Ce mouvement pousse en avant la jambe droite, le bassin et le tronc tout entier. La position de la jambe gauche placée en avant est nécessairement modifiée ; la tête du fémur gauche suit le bassin, le genou s'étend un peu, l'articulation tibio-tarsienne se fléchit. Le plan vertical passant par les centres des têtes des fémurs, qui, à l'origine du mouvement passait par le talon gauche, a été poussé en avant, et tombe maintenant sur le cou-de-pied.

Le corps, jusqu'ici, était appuyé sur les deux membres inférieurs placés, l'un en avant, l'autre en arrière. A ce moment, le membre inférieur droit, complétement étendu, cesse ses fonctions de colonne de sustentation et d'agent d'impulsion. Le genou se fléchit par le mécanisme précédemment exposé, le talon s'élève, le pied se sépare du sol et le tronc ne repose plus que sur le membre inférieur gauche.

Mais le membre inférieur gauche ne sert pas seulement de colonne de sustentation, il doit devenir agent d'impulsion et continuer le mouvement de translation en avant communiqué au tronc tout entier. A cet effet, l'articulation du genou, d'abord fléchie, se détend graduellement, le membre s'allonge, et par la flexion de l'*articulation tibio-tarsienne*, se place dans une position de plus en plus inclinée à

placé sur une verticale qui passe en avant de la ligne qui joint les centres des têtes des fémurs, et qu'il y a tendance continuelle à la chute en avant. Les mouvements des membres inférieurs doivent être constamment dirigés de manière que les têtes des fémurs, poussées dans le sens de l'inclinaison du tronc, puissent continuer à lui servir de point d'appui et s'opposer à la chute en avant. Dans ce cas, l'équilibre du tronc sur les fémurs est un véritable équilibre mobile et instable, comparable à celui d'une baguette inclinée, appuyée sur l'extrémité du doigt. Le seul moyen d'empêcher la baguette de tomber, est de mouvoir le doigt dans le sens de son inclinaison et avec une rapidité croissante avec l'inclinaison elle-même.

Toute impulsion communiquée au corps dans la progression lui vient des membres inférieurs, qui, à leur tour, ne peuvent devenir des agents actifs de mouvement qu'à la condition de se raccourcir et de s'allonger alternativement. Or, pour que l'allongement d'un membre inférieur devienne une cause de transport du centre de gravité du corps en avant, il faut, de toute nécessité, que cet allongement ne se fasse pas suivant la verticale, mais dans une direction inclinée à l'horizon. Il résulte nécessairement de là, que le centre de gravité du corps, simplement supporté ou poussé en avant par la jambe arc-boutée contre terre, reste constamment dans une position plus rapprochée du sol que dans la station verticale. D'ailleurs, cet abaissement du centre de gravité du corps vers la terre, doit être et est en réalité d'autant plus considérable, que le mouvement de déplacement est plus rapide.

Quel que soit le mode de progression adopté, chaque membre inférieur, alternativement, arc-boute contre terre et s'allonge par le redressement plus ou moins rapide de ses diverses articulations. Lorsque le membre est ainsi arrivé à l'extension extrême, il est incliné à l'horizon ; son rôle d'agent d'impulsion est terminé. Alors, le genou se fléchit, le talon s'élève, le pied se détache du sol, et le membre tout entier, ainsi raccourci, flotte suspendu au bassin, se meut rapidement d'arrière en avant, passe au-dessous du centre de gravité et va s'appliquer de nouveau contre terre. Pour se rendre un compte très exact de cette succession de phénomènes, il est nécessaire de se rappeler que le membre inférieur soutenu par la pression atmosphérique n'exerce aucune pression sur les parois de la cavité cotyloïde et peut osciller autour du centre de la tête du fémur comme un véritable pendule. Les expériences de E. Weber ont d'ailleurs démontré directement que, sur un homme vivant dont les muscles étaient relâchés, le membre inférieur, écarté de la verticale et abandonné à lui-même, oscillait absolument comme sur un cadavre, de telle manière que des membres de même longueur exécutaient des oscillations isochrones ; oscillations qui, d'ailleurs, obéissent aux lois du pendule ordinaire. E. Weber est allé plus loin, il a observé et mesuré les oscillations des jambes dans les divers modes de progression, et prouvé qu'elles exécutaient des oscillations parfaitement identiques avec celles de la jambe d'un cadavre, et par conséquent d'un pendule. Ceci nous prouve que les muscles des membres inférieurs ne jouent aucun rôle et qu'ils restent dans le relâchement complet pendant que la jambe devenue flottante oscille d'arrière en avant à la manière et suivant les lois du pendule. Cela posé, il est facile de se rendre compte du mécanisme suivant lequel le pied se sépare du sol.

Le membre inférieur, placé obliquement en arrière du centre de gravité du corps, est dans l'extension complète et ne touche plus le sol que par les phalanges. Ce *membre est un* vrai pendule écarté de sa position verticale, composé de deux parties contiguës, la cuisse et la jambe réunies l'une à l'autre par l'articulation du

ment des deux membres inférieurs, et le centre de gravité du corps se déplace en avant. A ce moment, le membre inférieur droit va se détacher du sol.

2e TEMPS. — *Le corps ne repose plus que sur l'un des deux membres inférieurs.* — Le membre inférieur gauche, qui, seul porte le poids du corps, s'allonge par l'extension complète du genou et le redressement du pied, qui, en tournant autour de l'extrémité antérieure des métatarsiens, se met à 45 degrés avec l'horizon ; la direction du membre gauche devient de plus en plus inclinée par rapport au sol, et le centre de gravité est poussé en avant. Quant au membre droit, il s'est détaché du sol par la flexion toute passive du genou ; devenu flottant, il a suivi le mouvement de translation communiqué au tronc par l'extension du membre gauche, et a exécuté en même temps une demi-oscillation pendulaire qui l'a ramené dans une position telle, que le talon se trouve verticalement au-dessous des têtes des fémurs.

A ce moment, le pied droit touche le sol, d'abord par le talon et puis par la plante tout entière, le corps s'appuie sur la jambe du même côté, et la position est la même qu'au point de départ ; le centre de gravité du corps s'est avancé de la longueur d'*un pas.*

Nous avons déjà dit que, pour que l'extension d'un membre inférieur devînt un agent d'impulsion en avant, il était nécessaire que sa détente se fît dans une direction oblique de bas en haut et d'arrière en avant, et que par conséquent le centre de gravité du corps devait se maintenir, pendant toute la durée de la progression, à une hauteur au-dessus du sol moindre que dans la station verticale. Nous avons dit aussi que les mesures de E. et de W. Weber avaient complétement vérifié cette prévision. Cependant, ce mouvement de translation en avant ne s'effectue pas sans que le centre de gravité éprouve quelques oscillations verticales. Au moment où la jambe postérieure, devenue antérieure, a terminé sa demi-oscillation pendulaire et se pose à terre, le centre de gravité descend un peu au-dessous du plan horizontal dans lequel il s'était mû jusque-là. Mais au moment où la jambe antérieure fortement et perpendiculairement appuyée contre terre, commence à s'allonger, le centre de gravité est soulevé au-dessus du plan dans lequel il se mouvra plus tard d'une hauteur égale à celle dont il s'était précédemment abaissé. L'oscillation verticale descendante s'opère donc, à la fin, d'un pas, et l'ascendante au commencement du pas suivant. Ces oscillations, d'ailleurs, ont peu d'étendue ; E. et W. Weber ont prouvé que, dans la marche, le centre de gravité ne s'abaissait pas et ne s'élevait pas de plus de 16 millimètres au-dessous et au-dessus du plan moyen horizontal de déplacement, et comme ces oscillations descendantes et ascendantes sont très rapprochées l'une de l'autre, nous pouvons admettre, sans erreur sensible pour les résultats définitifs, que, dans la marche, le membre inférieur arc-bouté contre terre et qui sert d'agent d'impulsion, s'étend et se développe de façon à ce que ses deux extrémités restent appuyées contre deux plans parallèles, dont l'un est le sol, et l'autre un plan passant par les centres des têtes des fémurs, et situé à une hauteur moindre que la longueur du membre dans la station verticale.

D'après notre précédent exposé sur le mécanisme de la marche, la longueur d'un pas, c'est-à-dire le chemin que parcourt horizontalement le centre de gravité du corps pendant la durée d'un pas, dépend à la fois de l'allongement qui survient dans le membre arc-bouté contre terre par le fait de l'extension du genou et de l'articulation tibio-tarsienne, et de la direction plus ou moins oblique suivant laquelle se fait cette extension. Or, il est bien évident que, pour un même indi-

dividu, l'effet de l'extension sera d'autant plus considérable que le genou était lui-même plus fortement fléchi à l'origine du mouvement, ou, en d'autres termes, que le plan horizontal sur lequel doit se mouvoir le centre de gravité, sera moins élevé au-dessus du sol. De plus, cet abaissement du centre de gravité fait que l'extension du membre inférieur s'opère dans une direction plus inclinée. Pour cette double raison, l'homme fera des *pas* d'autant plus *longs* que son centre de gravité restera plus abaissé pendant la durée de la marche.

La marche ordinaire, telle que nous l'avons décrite, se compose de deux temps. Dans le premier temps, le corps est porté sur les deux jambes, et le membre postérieur placé en arrière achève son extension complète. Dans le second temps, le corps n'est plus porté que par le membre antérieur, et le membre postérieur accomplit une demi-oscillation. Or, comme cette demi-oscillation s'exécute suivant les lois du pendule, sa durée est nécessairement déterminée par la longueur du membre oscillant.

La durée du pas ordinaire se compose donc de deux parties : 1° le temps qu'emploie le membre postérieur à achever son extension ; 2° le temps, toujours le même pour une même hauteur du centre de gravité au-dessus du sol, qu'il met à accomplir la demi-oscillation. Dans la marche ordinaire, cette seconde partie est toujours plus longue que la première.

La première portion dépend de la rapidité avec laquelle l'homme complète l'extension du membre postérieur, et la seconde, du raccourcissement du membre oscillant, c'est-à-dire de l'abaissement du centre de gravité du corps vers la terre. De cette double manière, la durée du pas dépend, dans certaines limites, de la volonté du marcheur.

La vitesse de déplacement dans la marche dépend de la longueur des pas et de leur durée; elle est en raison directe de la longueur et en raison inverse de la durée. Par suite, l'homme peut à volonté, et dans certaines limites, augmenter la vitesse de la marche ; le moyen le plus efficace pour atteindre ce but est d'abaisser le centre de gravité du corps, car alors, ainsi que nous l'avons vu, le pas devient plus long et il a moins de durée.

La marche peut acquérir un nouveau degré d'accélération par un mécanisme particulier qui la rapproche beaucoup de la course, sans toutefois lui faire perdre son caractère spécial consistant en ce que le corps n'est jamais complétement séparé du sol. En effet, nous savons que le premier temps du pas est employé tout entier à compléter l'extension du membre inférieur resté en arrière. Or, ce premier temps peut être non seulement abrégé, mais complétement supprimé. Il suffit pour cela, que pendant l'oscillation de la jambe flottante, le membre appuyé à terre acquière la plus grande longueur possible par l'extension complète du genou et de l'articulation tibio-tarsienne. De cette manière, au moment où la jambe flottante, ayant accompli sa demi-oscillation, se pose à terre par le talon, le membre postérieur complétement étendu se détache du sol. Le pas alors ne dure que le temps nécessaire à l'accomplissement de la demi-oscillation pendulaire, et le corps ne touche jamais la terre que par un seul pied. L'homme passe ainsi de la marche ordinaire à la *marche accélérée.*

Dans la marche la plus accélérée possible, le tronc atteint son maximum d'inclinaison en avant, le centre de gravité le maximum d'abaissement vers le sol, et les oscillations verticales du corps, à la fin d'un pas et au commencement du suivant,

sont moins fortes que dans la marche ordinaire. Le pas, étant réduit ainsi à un seul temps, a la même durée que la demi-oscillation pendulaire effectuée par le membre inférieur flottant.

Dans la marche, soit ordinaire, soit accélérée, telle que nous l'avons décrite jusqu'ici, nous avons eu soin de faire remarquer que le membre inférieur oscillant se posait toujours à terre par le talon. Cette espèce de marche peut donc être et sera désignée par la suite sous le nom de *marche sur le talon*, pour la distinguer d'une autre espèce de marche qui sera décrite plus tard.

Il résulte des nombreuses et belles expériences des frères Weber, qu'un homme de stature ordinaire peut acquérir, par la marche précipitée, un maximum de vitesse dont voici les éléments :

Longueur du pas.	$0^m,8656$
Durée du pas.	$0'',332$
Vitesse de déplacement ou espace parcouru en $1''$. .	$2^m,608$
Chemin parcouru en 1 heure	9389^m.

Au lieu de chercher à accélérer la marche ordinaire, l'homme peut au contraire la ralentir. Ce ralentissement présente à considérer deux degrés qui correspondent à deux modifications assez importantes de la marche : ce sont la *marche lente* et la *marche grave* ou *processionnelle*.

Dans la *marche lente*, les deux temps du pas ordinaire sont conservés ; seulement la jambe flottante, au lieu de poser à terre au moment où elle a accompli sa demi-oscillation, dépasse la verticale d'un arc représentant une fraction plus ou moins considérable de la demi-oscillation suivante. Au moment où le pied rencontre le sol, au lieu d'être placé sous la tête du fémur, il est placé un peu en avant, et le membre est incliné d'avant en arrière et de bas en haut. Il résulte de là que : 1° le second temps du pas a une durée plus longue, puisque la jambe décrit plus d'une demi-oscillation avant de poser à terre ; 2° que la durée du premier temps du pas, pendant lequel le corps repose sur les deux membres inférieurs, est aussi plus longue. Les pas, pour cette double raison, se succèdent moins rapidement que dans la marche ordinaire. La longueur du pas est, il est vrai, plus considérable, puisque la jambe flottante dépasse la verticale passant par la tête du fémur et se pose à terre plus loin du pied postérieur que dans la marche ordinaire. Mais l'allongement du pas ne compense pas le ralentissement de son exécution, et la vitesse du déplacement du centre de gravité en avant est diminuée.

Dans la *marche grave*, le tronc est droit sur le bassin, le centre de gravité aussi élevé que possible. La jambe flottante décrit une oscillation entière avant de toucher le sol et seulement par la pointe du pied abaissée. La jambe antérieure est alors tellement inclinée sur le sol, que le poids du corps continue à porter tout entier sur le membre inférieur placé en arrière. Ce n'est que peu à peu et à mesure que ce dernier membre inférieur s'étend, que le pied placé en avant s'applique à terre de la pointe au talon. Alors, le poids du corps est rejeté sur le membre antérieur, et le postérieur peut à son tour quitter le sol. Le pas a ici ses deux temps comme dans la marche ordinaire, mais la durée du premier est considérablement augmentée ; nous en dirons autant du second pendant lequel la jambe flottante opère une oscillation entière. Les pas s'effectuent donc beaucoup plus lentement. De plus, comme le centre de gravité est placé aussi haut que possible au-dessus du sol, l'allongement

des membres inférieurs est très peu considérable, et par conséquent la longueur du pas est très raccourcie. Ainsi, la marche grave est composée de pas plus courts et moins fréquents dans un temps donné. La vitesse de progression est donc considérablement diminuée.

Dans les diverses variétés de marche dont nous nous sommes occupé jusqu'ici, le *pied de la jambe oscillante s'appliquait toujours à terre par toute l'étendue de la plante.* Il existe une dernière espèce de marche qui peut être, comme la précédente, lente, ordinaire ou rapide, mais dans laquelle le pied ne touche jamais le sol que par les phalanges des orteils et les extrémités des métatarsiens et que, pour cette raison, nous appellerons *marche sur la pointe du pied.* Tout ce qui a été dit précédemment de la marche sur le talon s'applique à la marche sur la pointe du pied. Pour compléter son histoire nous n'avons qu'un mot à ajouter, c'est que l'homme marchant sur la pointe du pied ne peut pas atteindre un degré de vitesse aussi considérable que dans le cas où le pied s'applique sur le sol, d'abord par le talon et puis par toute l'étendue de la plante. Il résulte, en effet, des mesures de E. et de W. Weber, que la plus grande vitesse que l'homme puisse acquérir, dans cette variété du mode de progression, est représentée par les éléments suivants :

Longueur du pas.	0m,758
Durée du pas	0″,323
Vitesse de déplacement ou espace parcouru en 1″. .	2m,347
Chemin parcouru en 1 heure.	8450m.

On voit, en comparant les résultats obtenus dans le cas actuel avec ceux fournis par la marche rapide sur le talon, que lorsque l'homme s'appuie seulement sur les orteils, il exécute des pas plus rapides, mais notablement plus courts. C'est cette dernière circonstance qui ralentit son mouvement de progression.

Quelques auteurs ont admis que, dans la marche, le corps effectuait autour des têtes des fémurs des mouvements alternatifs de torsion à droite et à gauche. Sans doute, ces déplacements ont été observés quelquefois, mais ils sont anormaux, et dans la marche régulière chez un sujet bien conformé, rien de semblable ne se produit. D'ailleurs, l'action du membre inférieur arc-bouté contre terre qui, à la fois, soutient le corps et le pousse en avant, peut toujours être maintenue dans une direction telle, que l'impulsion communiquée au centre de gravité ne s'écarte pas du plan vertical dans lequel il se meut. La jambe oscillante, agissant à l'extrémité d'un bras de levier égal à la distance des têtes des fémurs, pourrait, il est vrai, entraîner le corps de son côté et produire ce mouvement de torsion. Mais cet effet est détruit par le mouvement des bras qui oscillent, celui du côté de la jambe flottante en sens inverse, et l'autre dans le même sens que la jambe elle-même. Ces trois oscillations isochrones et alternativement opposées de la jambe et des deux bras, se neutralisent complétement, et le corps n'a aucune tendance à tourner sur les têtes des fémurs. Cette circonstance nous explique la difficulté que l'homme éprouve à marcher un peu vite, lorsque les bras fixés au corps ne peuvent osciller.

De la course.

En abaissant de plus en plus son centre de gravité et en dirigeant les mouvements

de ses membres inférieurs de manière à toucher au sol, tantôt par un pied et tantôt par l'autre, mais jamais par les deux à la fois, l'homme peut arriver à une vitesse de locomotion assez considérable en conservant à la marche son caractère spécial, c'est-à-dire en ne séparant jamais complétement son corps de la terre. Mais cette vitesse est limitée à la fois par la longueur de l'écartement que les deux jambes peuvent atteindre et par la durée de la demi-oscillation du membre inférieur flottant. Pour donner à son déplacement, dans l'espace, un degré de vitesse plus considérable, l'homme doit changer de mode de progression et alors il a recours à la *course*.

La *course* est un mode de progression dans lequel, à un certain moment et pendant un certain temps, le corps est complétement séparé du sol et les deux jambes oscillent librement dans l'atmosphère à la manière de deux pendules.

La marche se compose d'une succession de *pas* dans lesquels le corps s'appuie alternativement sur deux pieds et sur un seul. La course se compose d'une succession de *sauts* dans lesquels alternativement le corps touche à terre par un seul pied et flotte dans l'atmosphère complétement séparé du sol.

Dans la course, le temps pendant lequel une jambe arc-boute contre terre est toujours plus court que celui pendant lequel elle flotte et oscille. Dans la marche ordinaire ou lente, c'est le contraire qu'on observe ; la marche précipitée est caractérisée par l'égalité de ces deux temps.

Il y a aussi, dans la manière d'agir de la force d'extension des membres inférieurs sur le centre de gravité du corps, une très grande différence entre la marche et la course. Dans la marche, en effet, le corps, continuellement appuyé ou sur les deux pieds à la fois ou sur un seul, est toujours soutenu, reçoit une impulsion graduée et continue ; dans la course, au contraire, le corps ne touche au sol que de temps en temps et ne peut recevoir des membres inférieurs que des impulsions saccadées, qui le poussent en avant et l'empêchent de tomber trop vite à terre pendant qu'il flotte dans l'espace, abandonné à l'action de la pesanteur.

Voyons d'abord par quelle succession de formes et de positions passent les diverses parties du corps et surtout les membres inférieurs pendant la durée des divers *sauts* dont se compose la course.

L'homme qui va courir est porté sur le membre inférieur gauche dont le pied, incliné à 45 degrés sur l'horizon, ne touche le sol que par les phalanges et les extrémités des métatarsiens ; l'articulation du genou est fortement fléchie et le centre de gravité du corps très abaissé. Le tronc est fortement penché en avant et le plan vertical, mené par les centres des têtes des fémurs, passe par la base de sustentation du pied gauche. Le membre inférieur droit, rejeté en arrière, à demi fléchi et détaché du sol, est prêt à osciller d'arrière en avant à la manière d'un pendule.

Tout à coup et très rapidement, le membre inférieur gauche s'allonge par l'extension complète du genou et de l'articulation tibio-tarsienne ; le pied gauche s'est relevé à angle droit sur le sol, et déjà le membre droit a accompli une portion de son oscillation pendulaire. A la fin de ce premier temps de la course, le membre inférieur gauche est dans l'extension la plus complète et très fortement incliné à l'horizon ; l'oscillation pendulaire du membre inférieur droit l'a ramené de la position postérieure qu'il occupait d'abord, à une position antérieure, de manière que le talon droit se trouve verticalement au-dessous de l'extrémité supérieure du tiers inférieur de la cuisse gauche. C'est le *premier temps du saut*.

Cette détente du membre inférieur gauche s'est opérée dans une étendue et avec

une vitesse telles, que la quantité de mouvement communiquée au corps a été assez considérable pour le détacher du sol et le lancer dans l'espace. A partir de ce moment, les deux jambes flottent et oscillent d'arrière en avant comme des pendules. La jambe droite, que nous savons être devenue antérieure, achève la première sa demi-oscillation ; l'extrémité antérieure des métatarsiens atteint le plan vertical mené par les centres des têtes des fémurs. Pendant que la jambe droite a ainsi achevé sa demi-oscillation, la jambe gauche a accompli une portion de la sienne. Là finit le *second temps du saut.*

Alors le pied droit s'appuie à terre par les phalanges et les extrémités des métatarsiens, le *premier saut* est accompli.

Le corps se retrouve tout entier dans la position que nous avons décrite à l'origine du mouvement ; seulement la jambe droite est à terre en place de la jambe gauche, et celle-ci est flottante et oscillante en place de la droite.

Pendant la durée des deux temps dont se compose le saut, le centre de gravité du corps poussé en avant par la détente du membre inférieur arc-bouté contre terre, a progressé de tout l'espace qui sépare le lieu où s'appuyait primitivement le pied gauche, de celui où le pied droit est venu s'appliquer après avoir décrit sa demi-oscillation. Cet espace est la mesure de la *longueur du saut.*

Au commencement du saut, le corps est projeté obliquement d'arrière en avant et de bas en haut par la détente du membre inférieur appuyé contre terre. Le corps, devenu flottant, continue à monter en même temps qu'il avance, puis il tombe en avançant toujours en vertu des lois de la pesanteur jusqu'à ce que l'autre membre inférieur ait accompli sa demi-oscillation et le soutienne en arc-boutant contre terre. Le centre de gravité du corps éprouve donc des oscillations verticales : c'est un résultat nécessaire de ce mode de progression. Ces oscillations existent en effet, mais elles sont un peu plus petites que dans la marche. Les mesures des frères Weber prouvent qu'elles ne dépassent pas 20 millimètres, c'est-à-dire que, dans l'étendue d'un saut, le centre de gravité ne s'élève et ne s'abaisse alternativement que de 10 millimètres au-dessus et au-dessous du plan horizontal moyen sur lequel il se déplace.

On a vu, plus haut, comment, à mesure que la marche s'accélérait, le centre de gravité du corps s'abaissait vers la terre, comment cet abaissement du centre de gravité rendait le pas plus long et plus rapide, et constituait la principale différence qui existe entre la marche rapide et la marche ordinaire. Dans la course, le centre de gravité est situé encore plus bas que dans la marche la plus accélérée. Il résulte de là que, au moment de la détente du membre inférieur posé contre terre, l'allongement de ce membre dans la course surpasse de 30 à 40 millimètres celui qu'on observe dans la marche rapide. Cette circonstance influe beaucoup sur l'énergie de l'impulsion donnée au corps et sur l'étendue du saut. Il sera facile maintenant d'expliquer pourquoi la vitesse de progression est plus considérable dans la course que dans la marche la plus rapide.

La vitesse du déplacement est en raison directe de la longueur et en raison inverse de la durée du pas ou du saut dans la marche ou la course.

Or, dans la marche, la longueur du pas dépend uniquement de la hauteur du centre de gravité au-dessus du sol, puisque de cette hauteur dépendent le degré d'allongement qu'éprouve le membre arc-bouté contre terre quand il passe à l'*extension complète*, et l'inclinaison suivant laquelle s'opère cette extension. Déjà, *dans la course*, le centre de gravité étant situé plus bas, l'allongement du membre

est plus considérable et l'inclinaison est plus prononcée ; donc aussi, le saut serait déjà plus long que le pas. Mais, outre l'espace parcouru en vertu de l'allongement du membre inférieur arc-bouté contre terre, le *saut* comprend tout l'intervalle dont se déplace en avant le centre de gravité, pendant que le corps abandonné à lui-même se meut à la manière d'un projectile. Par cette double raison, le *saut* de la course rapide est plus long que le *pas* de la marche accélérée.

Dans la marche, la durée du pas ne peut pas être plus courte que celle d'une demi-oscillation du membre inférieur, puisque cette demi-oscillation s'opère tout entière pendant la durée d'un pas. Dans la course, le membre inférieur accomplit aussi une demi-oscillation avant de poser à terre : mais d'abord le membre est plus raccourci que dans la marche, et, représentant par conséquent un pendule plus court, il lui faut moins de temps pour accomplir la demi-oscillation ; en second lieu, une partie de cette demi-oscillation est déjà effectuée quand le saut commence, puisque, pendant le second temps du saut précédent, alors que le corps était séparé de terre, les deux jambes oscillaient à la fois. Le saut n'a donc pour durée que le temps correspondant à une fraction de la demi-oscillation du membre inférieur. Il résulte évidemment de là que, dans un temps donné, un homme qui court effectuera un plus grand nombre de sauts successifs qu'il n'aurait fait de pas en se livrant à la marche la plus rapide.

Ainsi, d'une part, le saut de la course est plus long que le pas de la marche ; d'autre part, la durée du premier est moindre que celle du second : par conséquent, le maximum de vitesse de déplacement que l'homme peut atteindre doit être plus considérable dans la course que dans la marche.

Pour dissiper toute incertitude sur la valeur et l'exactitude de cette conclusion, il suffit de rapprocher dans un même tableau les résultats de vitesse maximum, fournis par les expériences de E. et de W. Weber dans la marche sur la pointe du pied, dans la marche sur le talon et dans la course.

	Marche sur la pointe du pied.	Marche sur le talon.	Course.
Longueur du pas ou du saut . .	$0^m,7580$	$0^m,8656$	$1^m,7270$
Durée du pas ou du saut. . . .	$0'',323$	$0'',332$	$0'',227$
Vitesse de déplacement ou espace parcouru en $1''$.	$2^m,347$	$2^m,608$	$7^m,600$
Espace parcouru en 1 heure . .	8450^m	9389^m	27360^m

Ainsi, si le maximum de vitesse que la course est susceptible d'atteindre pouvait être soutenu sans fatigue excessive, l'homme parcourrait en une heure l'espace énorme de 7 lieues de 4 kilomètres chacune.

Du trotter.

Outre la plus grande vitesse de déplacement, la course est aussi caractérisée par l'étendue des enjambées. Cette dernière circonstance fait que ce mode de progression s'adapte mieux que la marche aux exigences de certains terrains dont tous les points ne sont pas susceptibles de prêter au corps un appui convenable ; comme, par exemple, quand il s'agit de traverser un espace boueux ou inondé en plaçant successivement les pieds sur des pierres disposées de distance en distance. Mais la course a l'inconvénient d'entraîner très rapidement une dyspnée notable et une

grande accélération des battements du cœur. Ces accidents, dont la cause réside bien plus dans la rapidité des mouvements des deux membres inférieurs que dans la grandeur des efforts exigés par la course, s'opposent à ce que ce mode de progression puisse être longtemps soutenu. D'ailleurs, lorsque la course a acquis une grande vitesse, il devient difficile de bien diriger tous ses mouvements et surtout de s'arrêter tout à coup et sur place. Sur un terrain inégal, il y aurait donc danger de voir le pied porter à faux ou de se précipiter, malgré soi, dans un lieu qu'on aurait voulu éviter et qu'on aurait aperçu trop tard. Dans ce cas-là, le *trotter* devient un mode de progression précieux ; il partage avec la course les avantages des grandes enjambées, et il n'a pas les inconvénients que nous venons de signaler.

Comme la course, le trotter se compose d'une série de sauts pendant lesquels le corps est alternativement posé sur un seul pied et flottant dans l'espace sans toucher terre. Malgré ces ressemblances fondamentales, il existe entre ces deux modes de progression des différences assez considérables pour nécessiter une étude détaillée.

Dans la course, l'impulsion ascendante, communiquée au corps par la détente du membre inférieur arc-bouté contre terre, est assez oblique à l'horizon pour que, au moment où la jambe flottante antérieure a achevé sa demi-oscillation et s'est placée dans le plan vertical qui passe par les centres des têtes des fémurs, la descente du centre de gravité soit achevée ; le pied alors s'appuie fortement sur le sol et soutient le poids du tronc. Dans le trotter, cette impulsion ascendante est plus énergique et dans une direction plus rapprochée de la verticale. Dès lors, au moment où la jambe flottante antérieure a achevé sa demi-oscillation, le centre de gravité du corps n'est pas encore assez descendu pour que le pied touche à terre. La jambe continue donc à flotter et le corps à descendre. Ce n'est que quand la jambe a décrit une oscillation complète, que le centre de gravité a achevé son mouvement de descente et que le pied peut atteindre le sol par son extrémité antérieure. Mais le membre inférieur est trop fortement incliné sur le plan vertical passant par les centres des têtes des fémurs, pour que la jambe puisse offrir au tronc un appui efficace. Aussi elle ne fait que toucher le sol sans arc-bouter ; le corps, en vertu de la vitesse acquise, continue à se mouvoir obliquement en avant et en bas jusqu'à ce que la tête du fémur vienne se placer verticalement au-dessus des extrémités antérieures des métatarsiens posés sur le sol. C'est à ce moment seulement que le membre inférieur arc-boute contre terre et soutient le poids du corps. Là, finit aussi le saut du trotter, et la jambe en se débandant va commencer le saut suivant.

Le saut du trotter se compose donc de trois temps :

1er *temps.* — Un membre inférieur seul, arc-bouté contre le sol, s'allonge par le redressement brusque et subit de toutes les articulations, et lance le corps de bas en haut et d'arrière en avant, pendant que l'autre membre inférieur oscille dans l'espace comme un pendule.

2e *temps.* — Le corps, complétement séparé du sol, monte, puis descend, les deux jambes oscillent. Mais celle qui, pendant le premier temps, était librement suspendue dans l'espace, se place verticalement au-dessous de la tête du fémur, passe outre, achève son oscillation, et la pointe du pied atteint la terre sans la presser.

3e *temps.* — La jambe restée flottante continue à osciller. Le corps, obéissant à la vitesse acquise, continue à descendre en avançant jusqu'à ce que la tête du fémur se place verticalement au-dessus des extrémités des métatarsiens appuyés contre terre. A ce moment, le corps cesse de descendre, soutenu qu'il est par le membre inférieur.

Il suffit de rapprocher cette description de celle de la *marche grave* ou *processionnelle*, pour demeurer convaincu de la justesse de cette proposition de Weber :

« Le trotter est à la course ce que la marche grave est à la marche rapide. »

Le saut du trotter a nécessairement plus de durée que le saut de la course. En effet, d'un côté, la jambe flottante, avant de toucher terre, décrit, dans le trotter, une demi-oscillation de plus que dans la course ; de l'autre, après que le pied a atteint le sol, le centre de gravité parcourt encore tout l'espace qui le sépare de la verticale passant par les extrémités des métatarsiens posés à terre, c'est-à-dire la longueur d'une demi-oscillation. Cependant la durée du saut dans le trotter n'est pas aussi longue qu'on pourrait le croire d'après ce qui précède. Cela tient à ce qu'une très grande partie de l'oscillation entière que décrit la jambe, a eu le temps d'être parcourue pendant le saut antécédent. L'observation démontre que la durée du saut, dans le trotter, est à peu près double de ce que nous l'avons trouvée dans la course.

Dans le trotter, le corps exécute des oscillations verticales comme dans la course et la marche ; mais ici ces oscillations sont beaucoup plus prononcées que dans tous les autres modes de progression.

Le tronc est aussi moins incliné dans le trotter que dans la course.

Le saut, dans le trotter, a une longueur très variable. Il surpasse toujours le pas de la marche rapide, il est généralement inférieur au saut de la course. Cependant il peut surpasser en étendue celui de la course la plus rapide, mais il nécessite alors une dépense musculaire très considérable, car la jambe doit se détendre avec une extrême rapidité pour communiquer au corps une très grande force ascensionnelle.

Toutes ces circonstances doivent introduire de très grandes différences dans la rapidité que le mouvement de locomotion peut atteindre dans le trotter. D'après les recherches de W. Weber, cette vitesse varie dans les limites suivantes :

	Trotter le plus lent.	Trotter le plus rapide.
Longueur du saut.	$1^m,243$	$1^m,977$
Durée du saut	$0'',460$	$0'',404$
Vitesse de déplacement ou espace parcouru en $1''$.	$2^m,702$	$4^m,894$
Espace parcouru en 1 heure. . .	9727^m	17618^m

Ainsi, à la limite inférieure, la vitesse du trotter est à peu près la même que celle de la marche la plus rapide sur le talon, tandis que, à la limite supérieure, elle atteint les deux tiers de celle de la course la plus précipitée.

Du saut.

Dans le saut, que nous avons déjà eu occasion de mentionner à propos de la course et du trotter, le corps tout entier se détache du sol et flotte dans l'atmosphère à la manière d'un projectile. Ce mode de locomotion est toujours exceptionnel pour l'homme ; il peut s'exécuter verticalement, ou d'arrière en avant, ou d'avant en arrière. Pour en bien comprendre le mécanisme, il est nécessaire d'analyser les attitudes et les mouvements divers qui le précèdent et le préparent.

1° *Saut vertical et à pieds joints.* — Les pieds sont rapprochés, les plantes détachées du sol jusqu'aux extrémités des métatarsiens. La jambe est fléchie sur le pied, et la *cuisse sur la jambe.* Le tronc lui-même est incliné en avant, et les

bras, appliqués au corps, pendent librement à droite et à gauche. Dans cette position, le corps repose seulement sur les orteils, le centre de gravité est notablement abaissé et placé sur une verticale qui tombe sur le milieu de la ligne des extrémités des métatarsiens. C'est le long de cette verticale que va s'opérer l'ascension du centre de gravité pendant le redressement des articulations fléchies : et la ligne des extrémités métatarsiennes est l'axe autour duquel s'opéreront tous les mouvements ultérieurs. Par cet état de flexion des articulations, les diverses portions du corps se trouvent placées alternativement en arrière et en avant de la verticale du centre de gravité. Ainsi, en bas, le pied depuis l'extrémité métatarsienne jusqu'au talon, l'articulation tibio-tarsienne et la partie inférieure de la jambe, en haut, la portion supérieure de la cuisse, l'articulation coxo-fémorale, le sacrum et les parties inférieures de la colonne vertébrale sont situés en arrière de cette verticale ; tandis que, en bas, la partie supérieure de la jambe, l'articulation du genou et la partie inférieure de la cuisse, et, en haut, la partie supérieure de la colonne vertébrale sont situées en avant de cette même verticale.

Tout à coup, les muscles se contractent, le pied se relève sur les extrémités des métatarsiens, et les articulations tibio-tarsienne, fémoro-tibiale et coxo-fémorale se redressent; toutes les parties du corps placées en arrière de la verticale du centre de gravité sont poussées en avant et en haut, tandis que toutes les parties situées en avant de cette verticale sont poussées en arrière et en haut, et le centre de gravité du corps se meut de bas en haut le long de cette verticale avec une vitesse qui dépend de la rapidité du redressement des articulations elles-mêmes. A un moment donné, le mouvement de redressement s'arrête, les articulations se roidissent, le tronc et les membres ne forment plus qu'une tige rigide et ondulée. Certaines parties déterminées de cette tige sont sollicitées par des forces dirigées de bas en haut et d'arrière en avant, et d'autres par des forces dirigées de bas en haut et d'avant en arrière. Ces forces se composent en une résultante unique verticale appliquée au centre de gravité.

Au moment donc où le mouvement d'extension des articulations s'arrête, le centre de gravité du corps est soumis, d'une part, à l'action de la pesanteur, d'autre part, à une impulsion de sens inverse créée par le redressement des articulations. Lorsque le mouvement d'extension des articulations aura eu assez d'étendue et de rapidité pour que l'impulsion verticale qui en résulte surpasse l'action de la pesanteur, le corps se détachera de terre et montera verticalement dans l'atmosphère jusqu'à ce que l'action incessante de l'attraction terrestre ait détruit son effet.

L'élévation à laquelle le corps peut parvenir dans le saut dépend donc uniquement de l'intensité de l'impulsion acquise au moment où le redressement des articulations s'arrête. Or, cette impulsion elle-même dépend de l'étendue et de la rapidité du redressement produit : toutes choses égales d'ailleurs, le saut sera donc d'autant plus élevé que la flexion aura été plus complète ; et, à flexion égale, plus l'énergie de la contraction musculaire sera considérable et plus les membres inférieurs auront de longueur, plus aussi le saut aura d'amplitude. Cette circonstance nous explique pourquoi les animaux sauteurs ont des membres postérieurs si longs et munis d'un appareil musculaire d'une si grande puissance.

Les membres pectoraux servent aussi, chez l'homme, à faciliter le saut vertical. Au moment, en effet, où les articulations des membres inférieurs s'étendent, les *avant-bras sont*, par un mouvement rapide, fortement fléchis sur les bras. Il en

résulte une impulsion verticale qui s'ajoute à celle provenant de l'allongement des muscles inférieurs et augmente l'amplitude du saut.

2° *Saut d'arrière en avant et à pieds joints.* — La position est la même que dans le cas précédent; seulement le pied repose à terre par toute la plante. Puis, au moment du saut, le pied se relève rapidement autour des extrémités des métatarsiens, et l'extension du genou se fait surtout par une projection de la cuisse en avant. Il résulte de là que le centre de gravité se meut de bas en haut et d'arrière en avant, et que les impulsions dirigées dans ce sens l'emportent en intensité sur celles qui poussent d'avant en arrière et de bas en haut. Dès lors, au moment où le mouvement d'extension cesse, le corps tout entier est emporté en haut et en avant, quitte terre et décrit une parabole, comme un projectile lancé obliquement à l'horizon. De plus, les bras balancés autour de leurs articulations scapulo-humérales, sont violemment projetés en avant, ce qui contribue encore à augmenter le mouvement d'impulsion dans le sens du déplacement.

Le saut d'arrière en avant s'exécute dans une autre position initiale: une jambe étant placée en avant de l'autre, le poids du corps repose alors sur la jambe postérieure fortement fléchie, la jambe antérieure ne faisant que poser à terre. Tout à coup, la jambe postérieure se détend, pousse le centre de gravité en haut et en avant, puis la jambe antérieure s'étend à son tour, continue l'impulsion, et le corps tout entier est lancé en haut et en avant comme un projectile. Dans ce cas, souvent le saut est précédé d'un temps de course préalable: c'est ce qu'on appelle *prendre son élan.* Il est évident que, dans ce cas, la vitesse acquise pendant la course s'ajoute à l'impulsion finale communiquée par la détente successive des deux jambes et que le saut a plus d'amplitude. Ce procédé est employé, quand on veut franchir, par le saut, une longue distance horizontale.

3° *Saut d'avant en arrière et à pieds joints.* — La position est la même que dans le cas du saut d'arrière en avant et à pieds joints. Au moment de la détente, les pieds restent appliqués à terre, la jambe se relève rapidement sur le pied, et le tronc sur la cuisse. Évidemment alors le centre de gravité du corps se déplace d'avant en arrière et de bas en haut et les impulsions antéro-postérieures l'emportent sur celles du sens opposé. A l'instant donc où le mouvement de redressement cessera, la résultante de toutes les impulsions sera dirigée d'avant en arrière et de bas en haut, le corps se détachera du sol et le déplacement s'exécutera en arrière. Dans le saut antéro-postérieur, l'amplitude est toujours moins considérable que dans le saut dirigé d'arrière en avant.

L'homme peut aussi sauter en s'appuyant à terre par un seul pied. Le mécanisme est le même, mais, dans ce cas, le poids restant le même et l'impulsion étant moins énergique, le déplacement a nécessairement moins d'amplitude.

De la natation.

Le poids spécifique moyen du corps de l'homme est sensiblement supérieur à celui de l'eau des rivières, des lacs et même de la mer. Abandonné à lui-même, sans mouvements, dans une masse d'eau courante ou stagnante, l'homme plonge rapidement au-dessous de la surface libre du liquide, et puis tombe lentement au fond. Cependant, lorsque la poitrine est largement distendue par une inspiration profonde, l'immersion n'est pas complète, et le corps peut flotter à la surface jusqu'à ce que le besoin de renouvellement de l'air emprisonné dans le thorax

détermine une expiration. Malgré cet excès de poids spécifique, l'homme peut néanmoins parvenir à nager, c'est-à-dire à glisser à la surface de l'eau dans une direction déterminée.

Quel que soit d'ailleurs le mode de natation qu'il choisisse, le nageur agite rapidement ses membres autour de lui, d'une part, pour augmenter la masse d'eau déplacée et soutenir son corps à la surface; d'autre part, pour trouver dans la résistance du liquide un point d'appui qui lui serve à progresser suivant telle ou telle direction.

Natation sur le dos. — Le corps est étendu horizontalement, le dos tourné vers le fond de la masse liquide; les membres abdominaux sont dans l'extension complète, les bras étendus et appliqués au corps; les mains, ouvertes, sont placées horizontalement, et les doigts allongés et maintenus les uns contre les autres; la tête est légèrement renversée en arrière. Dans cette position, toutes les parties du corps sont plongées dans l'eau, à l'exception de la face qui reste au-dessus de la surface du liquide. Il suffit alors d'agiter rapidement les mains autour de l'articulation du poignet, de manière à leur imprimer une espèce de frémissement dirigé de dedans en dehors et de haut en bas, pour que le corps tout entier flotte dans sa position initiale. Les mains, en effet, en frappant ainsi obliquement le liquide à peu près au niveau du centre de gravité du corps, augmentent la masse d'eau déplacée, et impriment au système tout entier une poussée dirigée de bas en haut. Ces deux effets, quoique très minimes, sont suffisants pour maintenir le corps en équilibre à la surface de l'eau. L'homme, dans ce cas, *fait la planche.*

Dans cette position, il fléchit les avant-bras sur les bras; en même temps il fléchit les genoux et les articulations coxo-fémorales, de manière que les pieds soient ramenés sur la ligne médiane et le plus près possible du tronc. Puis, tout à coup il allonge violemment les membres abdominaux et frappe l'eau; il étend aussi rapidement les avant-bras, de façon à raser les côtés du corps avec le bord externe des mains légèrement redressées; dans ce mouvement, l'eau est fortement et obliquement refoulée d'avant en arrière et de haut en bas par la plante des pieds et la paume des mains. Il en résulte une poussée de sens inverse, c'est-à-dire dirigée d'arrière en avant et de bas en haut, qui s'exerce sur le corps tout entier, le maintient à la surface et le fait progresser en ligne droite, la tête en avant. L'homme, en répétant rapidement et simultanément ces mouvements de flexion et d'extension des membres abdominaux et pectoraux, nage d'une manière facile et rapide. Seulement, dans cette situation, il ne voit pas le but vers lequel il se dirige, et peut aller frapper de la tête contre quelque obstacle placé sur son chemin. D'ailleurs, si les mouvements des jambes et des bras ne sont pas parfaitement coordonnés, la tête plonge tout entière au-dessous de la surface du liquide. Aussi, quoique ce genre de natation soit très facile, l'homme ne l'adopte ordinairement que d'une manière transitoire, et bien plus comme position de repos que comme mode de progression rapide.

Natation sur le ventre. — Le corps est placé obliquement dans l'eau, cependant dans une position beaucoup plus rapprochée de l'horizontale que de la verticale; la tête seule est au-dessus de la surface. Les articulations des membres inférieurs et des membres supérieurs sont fléchies. Les pieds, unis par les talons, sont *ramenés très près du* tronc, les plantes tournées en arrière et en dehors; les *mains, ouvertes* et unies par leur côté externe, sont appliquées contre la partie

supérieure du thorax, et les doigts juxta-posés sont horizontalement dirigés en avant. Alors commence la série des mouvements suivants :

1er *temps.* — Toutes les articulations se redressent violemment ; les membres abdominaux et thoraciques s'allongent ; le corps ne forme plus qu'une tige droite et rigide, terminée en avant par les deux mains étendues horizontalement et réunies sur la ligne médiane, en arrière par les pieds légèrement écartés l'un de l'autre et la pointe en dehors et en bas. Pendant cette détente rapide des membres abdominaux, l'eau est violemment frappée d'avant en arrière et de haut en bas par la plante des pieds ; il en résulte une poussée de sens inverse, qui sollicite le corps à se mouvoir en haut et en avant. Les membres supérieurs, d'ailleurs, en s'allongeant, présentent à l'eau un plan incliné, tranchant, offrant peu de résistance au déplacement, en sorte que leur projection en avant entraîne le corps dans la même direction. La masse tout entière se meut donc d'arrière en avant, avec une vitesse qui dépend évidemment de la rapidité avec laquelle s'est exécuté le mouvement d'extension. A mesure que le corps chemine, il frappe l'eau avec le thorax obliquement dirigé ; de là naît une résistance qui diminue graduellement la vitesse du déplacement, mais qui aussi soutient la partie antérieure du corps et l'empêche de plonger. C'est à cet effet qu'il faut rapporter le mouvement ascensionnel des épaules au-dessus de la surface de l'eau, au moment de la plus forte impulsion. En vertu de la vitesse acquise, l'homme continue à glisser en avant, mais d'un mouvement qui va sans cesse se ralentissant, à cause de la résistance du liquide.

2e *temps.* — Bientôt les mains se séparent, la paume dirigée en dehors et en bas. Elles s'écartent lentement par un mouvement dont le centre est l'articulation scapulo-humérale, et puis, par la flexion des articulations du coude et de l'épaule, sont graduellement ramenées à leur position primitive, en avant du thorax. En même temps, les membres abdominaux se replient lentement sur eux-mêmes, et la position est la même qu'à l'origine du mouvement. Pendant ce deuxième temps, les mains ont évidemment joué le rôle de deux rames destinées à soutenir le corps dans sa position, et à lui communiquer une légère impulsion en avant.

L'ensemble de ces deux temps constitue une *nagée* dont l'amplitude dépend surtout de l'énergie avec laquelle l'eau a été frappée par les pieds pendant la détente des membres abdominaux.

La natation ressemble beaucoup au saut ; mais ici une grande partie de la force créée par l'extension des jambes est perdue, parce que la résistance du liquide n'est pas absolue comme celle du sol.

Les modes de nager sont extrêmement variés, mais leur mécanisme au fond est le même, et nous en avons dit assez pour qu'il soit facile de comprendre de quelle façon l'homme et les divers animaux parviennent à flotter à la surface des eaux, en imprimant à leur corps un mouvement de translation dans une direction déterminée.

Du vol et de la reptation.

Ces deux modes de locomotion étant complétement étrangers à l'homme, nous nous contenterons d'exposer en très peu de mots les phénomènes principaux qui les caractérisent.

Du vol. — *Pour voler,* l'oiseau commence par déployer ses ailes en haut et

latéralement, puis il les abaisse rapidement de manière à frapper l'air directement de haut en bas ou bien obliquement de haut en bas et d'avant en arrière; puis, enfin, il les reploie et les ramène au corps. En vertu de ces trois mouvements successifs et rapidement répétés, il parvient à se soutenir, à s'élever dans l'atmosphère et à progresser horizontalement dans une direction déterminée.

Pendant leur déploiement, les ailes présentent toujours leurs tranches dans le sens du déplacement, et, par conséquent, ne rencontrent pas de résistance sensible. Les mêmes circonstances se reproduisent pendant que les ailes se reploient pour s'appliquer au corps. Ainsi, pendant le premier et le troisième temps du vol, les ailes exécutent leurs mouvements sans rencontrer de résistance appréciable, et, par conséquent, ne peuvent communiquer au corps de l'oiseau aucune espèce de mouvement.

C'est pendant le second temps du vol, quand l'aile développée en haut et en dehors s'abaisse rapidement, que le corps reçoit l'impulsion. En effet, l'aile complétement étalée présente une grande surface; mise en mouvement par les muscles pectoraux, elle ne peut s'abaisser qu'à la condition de déplacer une grande masse d'air et de rencontrer une grande résistance. Lorsque la contraction musculaire est très rapide, l'aile, pour obéir à cette traction, serait obligée de surmonter une résistance supérieure à celle qu'il faudrait pour mouvoir le corps entier en sens inverse. Dès ce moment l'air joue le rôle de point d'appui, tout se passe comme si l'attache humérale des muscles pectoraux était un obstacle invincible, et l'animal soulevé se meut dans l'espace à la manière d'un projectile. Quand le choc a lieu directement de haut en bas, l'oiseau monte verticalement; quand, au contraire, l'aile s'abaisse obliquement de haut en bas et d'avant en arrière, l'impulsion progressive s'exerce en sens inverse de bas en haut et d'arrière en avant.

La queue de l'oiseau, étalée et susceptible de prendre des positions variées autour des points d'attache des plumes, remplit le rôle d'un véritable gouvernail, et sert à diriger la partie antérieure du tronc en haut, en bas, à droite ou à gauche, selon le sens suivant lequel elle reçoit elle-même le choc de l'air pendant le vol. Chez les oiseaux dont la queue est très courte, les pattes, rejetées en arrière et agitées à la manière des membres abdominaux des nageurs, remplissent un office de même genre et aident à la locomotion aérienne.

De la reptation. — Bien que les modes de reptation soient très variés, le mécanisme de ce genre de locomotion reste au fond toujours le même. L'animal adhère au sol alternativement par son extrémité antérieure et par son extrémité postérieure. C'est la partie fixée qui joue le rôle d'appui pour la projection ou la traction, tandis que la partie opposée cède à l'impulsion communiquée. Lorsque l'animal tient au sol par la partie antérieure, la contraction des muscles du dos entraîne en avant le train postérieur; le corps quelquefois se raccourcit dans le sens antéro-postérieur, et même s'incurve d'une manière très prononcée dans un plan vertical ou dans un plan horizontal, comme chez les serpents. Alors l'extrémité postérieure à son tour devient adhérente, la partie antérieure se détache, et, obéissant à l'action musculaire, est projetée en avant. La répétition de ces mouvements alternatifs détermine la progression de l'animal.

Les organes, à l'aide desquels s'effectue l'adhérence des parties, varient avec les espèces animales. La sangsue se sert des ventouses placées aux extrémités de son corps; certains animaux se servent de soies ou de moignons de pattes cou-

verts d'aspérités. Les reptiles, munis de deux paires de membres, utilisent à cet effet leurs pattes antérieures et postérieures alternativement projetées en avant. Pendant que les serpents glissent horizontalement à la surface du sol, leur corps est fractionné en un certain nombre de parties qui s'incurvent en sens inverse les unes des autres, et qui adhèrent alternativement à la terre, au moyen des côtes et des écailles.

DE LA VOIX (1).

DU SON ET DES PRINCIPAUX INSTRUMENTS APTES A SA PRODUCTION.

Notions préliminaires.

La *voix* est un son que l'homme et certains animaux font entendre en chassant l'air de leurs poumons à travers la *glotte*.

La voix ne saurait donc exister chez les animaux dépourvus d'organes pulmonaires ; elle manque effectivement aux poissons, aux mollusques, etc. Si quelques insectes, font retentir les airs de sons souvent aussi aigus que peu harmonieux, c'est, comme on le verra, à l'aide d'un mécanisme particulier, et bien différent de celui qui produit la voix chez l'homme, les mammifères, les oiseaux et quelques reptiles.

(1) Ce chapitre sur la *voix* m'est commun avec le professeur A. Masson.

Sur la voix de l'homme et des animaux, consultez : FABRICE D'AQUAPENDENTE, *De laryngis actione*, pars II, p. 281 ; dans *Opera omnia anat. et physiol.* Leyde, 1738. — DODART, *Mém. sur les causes de la voix de l'homme et de ses différents tons :* dans *Mém. de l'Acad. des sc. de Paris*, ann. 1700, p. 244 ; 1706, p. 136 ; 1707, p. 66. — FERREIN, *De la formation de la voix de l'homme ;* dans *Mém. de l'Acad. des sc. de Paris*, ann. 1741, p. 409. — HÉRISSANT, *Recherches sur les organes de la voix des quadrupèdes et celle des oiseaux ;* dans *Mém. de l'Acad. des sc. de Paris*, ann. 1753, p. 269. — VOGEL (Rud.-Aug.), *De larynge et vocis formatione.* Erf., 1757. — ROGER (J.-L.), *Tentamen de vi soni et musices in corpus hum.* Avignon, 1758 ; *Traité des effets de la musique sur le corps humain ;* trad. du latin par Et. Sainte-Marie. Lyon, 1803. — HALLER (Alb.), *Elem. physiol. corp. hum.* t. III, p. 434. — VICQ-D'AZYR, *Sur la voix ;* dans *Mém. de l'Acad. des sc. de Paris*, 1779. — CUVIER (G.), *Leçons d'anat. comp.*, 1805, t. IV. — DUTROCHET (H.), *Essai sur une nouvelle théorie de la voix ; Dissert. inaug.* Paris, 1806. — LISKOVIUS (Karl.-Fried.), *Dissert. physiol. sistens theoriam vocis.* Leipsick, 1814 ; et en allemand : *Physiologie der menschlichen Stimme.* Leipsick, 1846. — BIOT (J.-B.), *Précis élément. de physiq. expérim.*; 3e édit.; t. I, chap. x, p. 457. Paris, 1824. — FRICK (J.-C.), *De theoria vocis.* Berlin, 1819. *Dissert. inaug.* — DESPINEY, *Recherches sur la voix.* Paris, 1821. — SAVART (Félix), *Mém. sur la voix humaine ;* dans *Ann. de chim. et de phys.* 1825, t. XXX, p. 64. *Mém. sur la voix des oiseaux, ibid.*, t. XXXII, p. 5 et 113 ; dans *Journ. de physiol. expérim.*, t. V, p. 390, et dans le journal l'*Institut.* — CHLADNI (E.-F.), *Einige Bemerkungen über die menschliche Stimme, Cœcilia*, 1826, Hft 14, S. 157. — MAYER (A.-F.), dans *Meckel's Arch. für Anat. und Physiol.* 1826, n° 2. — BENNATI (F.), *Du mécanisme de la voix humaine pendant le chant*, lu à l'Académie des sciences de Paris, séance du 31 janvier 1830 ; et dans *Ann. des sc. nat.*, 1831, t. XXIII. — MALGAIGNE (J.-F.), *Nouvelle théorie de la voix hum.*; dans *Arch. génér. de méd.*, 1831, t. XXV. — GERDY (P.-N.), *Note sur la voix ;* dans *Bull. des sc. méd. de Férussac*, 1830, t. VII, p. 318 ; art. VOIX du *Dict. de méd. de l'Encyclop. méth.*, et son *Traité de physiol. méd.*, t. I, part. II, p. 728. — COLOMBAT (de l'Isère), *Traité méd. chir. des maladies des organes de la voix*, ou *Recherc. théor. et prat. sur la* physiol., la pathol., *la thérap. et l'hyg. de l'appareil vocal.* Paris, 1834. — BISHOP (John), dans London med. gaz., july 1834, et dans *London and Edinburgh* philos. Magaz. and journ. of sc., mai 1838. —

Le larynx humain est, sans contredit, l'instrument le plus parfait que l'on connaisse pour produire des sons. Dans cet organe, rien d'inutile ou de superflu ; chaque élément a son usage déterminé, et le maximum d'effet est obtenu avec le moins de dépense possible.

Notre but principal est de rechercher le rôle de chacune des parties qui constituent l'organe vocal de l'homme et d'un certain nombre d'animaux, en nous appuyant à la fois sur les faits incontestables que la science possède et sur nos propres expériences. Mais, avant de commencer une étude aussi pleine d'intérêt, il nous faut passer en revue les phénomènes primordiaux, les lois générales de l'acoustique, et faire connaître les principaux instruments employés à produire les sons. Cette connaissance devra nous servir, plus tard, à établir une théorie rationnelle de la voix.

Ces mêmes notions devant s'appliquer, en partie, à l'étude de l'*audition*, nous croyons devoir leur donner dès à présent un certain développement.

L'*acoustique* se résume dans les principes suivants :

1° Toute sensation auditive résulte originairement d'actions périodiques et isochrones exercées sur le milieu dans lequel l'organe de l'ouïe est plongé.

2° La sensation perçue est toujours en rapport avec le nombre des vibrations du corps sonore.

3° Quand un corps résonne, c'est-à-dire quand il est le siége de vibrations moléculaires, les oscillations se propagent à toute matière pondérable ambiante.

L'organe de l'ouïe ne fait pas exception à cette règle ; il vibre sous l'influence du corps sonore avec lequel il est en contact médiat ou immédiat.

Ces divers principes, les expériences sur lesquelles ils reposent, seront successivement développés par la suite.

Les physiciens et les physiologistes ont distingué deux espèces de sons : les *sons musicaux* et les *bruits*.

Les *sons musicaux* résultent d'un mouvement moléculaire périodique et isochrone ayant une certaine durée.

Il suffit, pour qu'un corps résonne, que ses molécules, d'abord écartées de leurs positions d'équilibre, soient ensuite abandonnées à elles-mêmes. Sollicitées alors par les molécules voisines, elles oscillent autour de ces positions d'équilibre, et leur mouvement est identique à celui d'un pendule soumis à l'action de la pesanteur.

On nomme *oscillation* le mouvement que la molécule exécute de chaque côté

LEHFELDT (Karl.), *Nonnulla de vocis formatione ; Dissert. inaug. physiol.* Berlin, 1835. — WIEDEMANN (Aug.-Karl.), *De voce humana atque de ignota hujusque cantus modulatione quædam ; Dissert. inaug.* Dorpat, 1836. — CAGNIARD-LATOUR, dans le journal l'*Institut*, nos 161, 162, 192, ann. 1836 ; 196, 212, 222, 223, ann. 1837 ; 225, 229, 238, 244, ann. 1838, etc. — MULLER (Jean), *Traité de physiol.*; trad. de Jourdan, t. II. — DIDAY et PÉYREQUIN, *Mém. sur une nouvelle espèce de voix chantée ;* dans *Gaz. méd. de Paris*, 1840, p. 305. *Sur le mécanisme de la voix de fausset*, *ibid.*, 1844, p. 115 et 133. — SEGOND, *Hygiène du chanteur*, Paris, 1845. — Divers mémoires sur la voix, insérés dans *Arch. génér. de méd.*, 4e sér. 1848, t. XVII, p. 200 ; 4e sér. 1849, t. XX, p. 195, 311, etc. — LONGET (A.), *Recherches expérimentales sur les fonctions des nerfs et des muscles du larynx, et sur l'influence du nerf accessoire de Willis dans la phonation* ; dans *Gaz. méd. de Paris*, juillet 1841. — GARCIA (Manuel), *Mém. sur la voix humaine* ; Rapport de Dutrochet sur ce mémoire ; dans *Comptes rendus hebd. des séances de l'Acad. des sc. de Paris*, 1841, t. XII, p. 638.

de sa position d'équilibre, et *amplitude de l'oscillation*, l'espace qu'elle parcourt dans ce mouvement.

Tout mouvement moléculaire produit, dans les corps, des *mouvements de totalité* qui ont une grande importance et qui doivent être particulièrement signalés. Un corps, dont les molécules ont été dérangées de leurs positions d'équilibre, se déforme, et ce corps entier ou plusieurs de ses divisions exécutent des mouvements oscillatoires synchrones aux mouvements moléculaires. Ainsi sont imprimées, au milieu dans lequel se trouve l'organe de l'ouïe, les oscillations qui procurent la sensation du son. L'intensité de cette sensation dépend de la grandeur des parties vibrantes du corps sonore et de l'amplitude de leurs oscillations.

Réciproquement, quand, par une cause quelconque, on modifie la forme d'un corps, le retour à la forme primitive nécessite un mouvement oscillatoire de totalité qui détermine, dans ce corps, des mouvements moléculaires synchrones. On peut citer comme exemples : une cloche frappée par un marteau ou mise en vibration au moyen d'un archet ; une verge solide, frappée à l'une de ses extrémités par un marteau ou frottée avec du drap enduit de colophane ; les cordes vibrantes.

Les causes qui rendent sonores les corps solides déterminent les mêmes phénomènes de sonorité dans les liquides et les gaz. Les procédés, à l'aide desquels on peut produire des sons dans les fluides, seront examinés plus loin avec détails.

Les *bruits* ne diffèrent des sons musicaux que par la durée. Ainsi, une explosion de gaz, un choc, la rupture d'un corps solide donnent lieu à des sons qu'on nomme généralement des bruits, et qui sont pourtant aussi complétement caractérisés que les sons soutenus ou musicaux. Cette distinction des bruits et des sons musicaux résulte de l'oubli d'un fait physiologique susceptible de plusieurs applications et digne d'être rappelé ici. Une sensation instantanée et très intense suspend une sensation de même nature : ainsi, un coup de pistolet anéantit momentanément la sensation d'un son continu ; un éclair très vif fait disparaître toute autre lumière moins éclatante.

Nous devons, dans la comparaison de deux sensations produites par une même cause et conséquemment de même nature, avoir égard à un élément important, *la durée de la sensation*, et nous ne pouvons porter un jugement qu'en soumettant à l'expérience des actions ayant sensiblement la même durée pendant l'observation.

On ne saurait donc établir aucune comparaison entre un bruit et un son soutenu ; mais, au contraire, si l'on produit deux bruits simultanés, on pourra établir leur rapport aussi exactement que pour deux sons musicaux. Il sera facile de reconnaître l'exactitude des observations précédentes, en déterminant d'abord les rapports des sons musicaux produits par des corps solides (verges, verres, cloches) et, frappant ensuite ceux-ci pour en obtenir des bruits qui seront dans le même rapport que les sons précédents.

Il n'y a pas lieu de distinguer, quant à leur nature, les bruits des sons musicaux.

Les actions périodiques des corps sonores ne suffisent pas pour exciter en nous la sensation du son ; il faut encore que leurs oscillations soient communiquées à l'organe de l'ouïe par l'intermédiaire d'un corps solide, liquide ou gazeux.

Un timbre, placé dans un récipient où l'on a fait le vide, ne fait entendre aucun son, quand on le frappe par un mécanisme convenable, attendu que le fluide

éthéré, qui remplit l'espace privé de matière pondérable, ne propage pas les vibrations sonores. Mais si l'on touche ce timbre avec un corps solide, par exemple une baguette qui traverse la cloche, immédiatement le son est produit ; la sensation sonore est de nouveau perçue aussitôt qu'on fait rentrer l'air ou tout autre gaz dans le récipient.

Vitesse de propagation du son.

La vitesse de propagation du son est mesurée par l'espace que celui-ci parcourt dans une seconde.

1° *Vitesse du son dans les gaz.* — Indépendante de la force élastique du gaz, elle varie seulement avec sa densité, sa température et le rapport de ses chaleurs spécifiques à volume constant et à pression constante. Nous adopterons, comme moyenne d'un grand nombre d'expériences, 333 mètres pour la vitesse du son dans l'air à 0°.

Une commission de l'Académie des sciences a fait, en 1738, des expériences entre Montmartre et Montlhéry : elle a trouvé 332^{m},9 à 0°. En 1822, les membres du bureau des longitudes ont obtenu 331^{m},12 à 0°, au moyen d'expériences faites entre Villejuif et Montlhéry (1).

Bravais et Martins (2), ayant exécuté plusieurs expériences suivant une ligne inclinée sur l'horizon, entre le lac de Brienz et le village de Tracht, en Suisse, ont obtenu 333^{m},11 à 0°.

La vitesse du son, dans l'air et dans les gaz, est représentée par la formule suivante, due à Laplace :

$$v=\sqrt{\frac{gh}{D}\cdot\frac{c}{c'}}.$$

Dans l'air on a :

$$v=\sqrt{9^{m}8088.10466,82(1+0,00366T)0^{m},76.1,419}.$$

v, vitesse du son ; h, pression du gaz ; D, densité du gaz ; g, intensité de la pesanteur ; c et c', chaleur spécifique à pression constante et à volume constant ; T, température du gaz.

Biot (3) a constaté que tous les sons se propagent dans l'air avec la même vitesse.

La vitesse du son varie avec l'état hygrométrique de l'air. Il faudrait, pour corriger les valeurs trouvées plus haut, connaître la vitesse de propagation du son dans un mélange de gaz et de vapeurs. Cette détermination, qui nous manque, serait utile pour la théorie de la voix, l'air étant toujours, dans les organes vocaux, plus ou moins saturé d'humidité et mélangé à de l'acide carbonique et à un excès d'azote.

2° *Vitesse du son dans les liquides.* — Beudant a trouvé, approximativement, 1500^{m} pour la vitesse du son dans l'eau de mer. Sturm et Colladon adoptent 1435^{m}

(1) *Ann. de physique et de chimie*, 1re série, t. XX, p. 220.
(2) *Même rec.*, 2e série, t. XIII, p. 5.
(3) *Précis de physique*, t. I, 2e édit., p. 36.

pour cette vitesse dans l'eau du lac de Genève. La vitesse du son dans les liquides est assez exactement représentée par la formule :

$$v = \sqrt{\frac{g}{a}}$$

v, vitesse du son dans un liquide ; g, intensité de la pesanteur ; a, coefficient d'élasticité du liquide.

3° *Vitesse du son dans les solides.* — Les solides transmettent les sons beaucoup plus rapidement que les liquides. Biot a trouvé que la vitesse du son dans la fonte est dix fois plus grande que dans l'air. Nous donnerons plus loin les moyens indirects qu'on a employés pour déterminer cette vitesse dans les liquides et les solides. La formule précédente $v = \sqrt{\frac{g}{a}}$ représente, d'une manière assez exacte, la vitesse du son dans les solides. a représente le coefficient d'élasticité du corps solide.

Qualités des sons.

On distingue : 1° la gravité et l'acuité, ou la *hauteur* des sons ; 2° l'intensité ; 3° le timbre.

1° La *hauteur du son* dépend du nombre de vibrations communiquées à l'organe de l'ouïe par le corps sonore. On peut facilement s'en assurer au moyen de la *sirène*, instrument inventé par Cagniard-Latour, ou à l'aide d'une roue dentée qui, dans son mouvement, frotte contre une carte. Ce dernier procédé, proposé par Savart, est très simple et prouve bien que la hauteur du son dépend du nombre des vibrations : il suffit, en effet, de tourner la roue plus vite pour entendre le son monter du grave à l'aigu.

2° L'*intensité du son* doit être attribuée à l'amplitude des oscillations des parties vibrantes du corps sonore, c'est-à-dire à l'énergie de l'action exercée sur l'organe de l'ouïe. L'intensité du son décroît comme le carré de la distance du corps sonore à l'organe auditif.

3° Le *timbre* d'un son résulte très probablement de la forme de l'onde sonore et de sa constitution intime, sujet sur lequel nous aurons occasion de revenir. Si l'on prend une sirène, dont les plateaux sont percés de trous de diverses formes, on modifie à volonté le timbre du son. Dans les instruments à vent, le timbre serait produit par une modification imprimée à l'onde principale par les vibrations synchrones des différentes subdivisions des pièces solides.

Rapports des sons.

L'organe de l'ouïe ne peut estimer la valeur absolue d'un son, c'est-à-dire le nombre absolu de vibrations qu'exécute un corps sonore, mais il apprécie facilement le rapport des nombres de vibrations de deux sons simultanés, rapport que les musiciens nomment un intervalle musical. Quand ce rapport est égal à 2, l'oreille distingue difficilement les deux sons, surtout s'ils sont très graves ou très aigus. Les sons possèdent donc deux valeurs, une valeur absolue et une valeur relative : cette dernière est la seule appréciable par nos

organes. Si, partant d'un son correspondant, par exemple, à 500 vibrations par seconde, on monte progressivement jusqu'à un autre son produit par 1,000 vibrations, on éprouvera les mêmes sensations qu'en parcourant l'intervalle entre 1,000 et 2,000 vibrations par seconde, pourvu que, dans cette seconde période, les sons successifs restent avec ceux de la première série dans le même rapport de 1 à 2.

Lorsque deux sons résultent exactement du même nombre de vibrations, ils sont à l'*unisson*. Quand le rapport de leurs vibrations est 2, ils sont à l'*octave*, parce que les musiciens ont divisé en huit parties, ou tons, l'intervalle de ces deux sons pour former la gamme. Les expériences les plus précises assignent aux sons d'une gamme les rapports suivants, relativement à leurs nombres de vibrations :

1	9/8	5/4	4/3	3/2	5/3	15/8	2
ut,	*ré*,	*mi*,	*fa*,	*sol*,	*la*,	*si*,	*ut*.
Son fondamental.		Tierce.		Quinte.			Octave.

Les intervalles peuvent être facilement définis par les rapports des vibrations. Ainsi, on dit souvent le son 1 et le son 2, pour désigner des octaves, le son $\frac{3}{2}$ pour désigner la quinte, etc.

Quelles que soient les valeurs absolues de leurs vibrations, les sons formeront une gamme et procureront les mêmes sensations, si les rapports précédents sont conservés.

Les musiciens ont encore introduit, entre les sons de la gamme, des demi-intervalles ou demi-tons.

Valeur absolue des sons; limite des sons perceptibles.

Il résulte des expériences de Savart (1) et de celles de Despretz (2) que la limite des sons perceptibles ne dépend que de l'intensité de la vibration nécessaire pour faire osciller l'organe de l'ouïe, et que, pour les sons graves, deux vibrations paraissent suffisantes pour caractériser le son. Pour les sons aigus, Despretz a pu percevoir des sons produits par des diapasons et correspondant à 73,000 vibrations par seconde.

Les physiciens adoptent comme unité et désignent par ut_1 le premier *ut* de la basse et du piano à six octaves et demi. Le diapason normal qu'ils emploient est celui qui correspond à l'*ut* de la quatrième corde du violon, ou ut_5, et qui fait 512 vibrations par seconde. Ce nombre fixe a été adopté en même temps que la vitesse du son, 1,024 pieds anciens par seconde à 0°, qui sert à tous les constructeurs d'orgues qui ont conservé les anciennes mesures.

Ce nombre, 1,024 pieds, diffère peu de 333 mètres, et offre un grand nombre de diviseurs, qui rendent son usage plus facile dans la pratique. Le son de 512 vibrations par seconde a pour longueur d'onde 2 pieds.

Si l'on multiplie 512 par les intervalles de la gamme, on aura la valeur absolue des sons d'une gamme dont la note fondamentale serait l'*ut* de la quatrième corde du violon.

Pour les gammes suivantes, il suffira de multiplier les valeurs obtenues précédemment par 2^1, 2^2, 2^3, etc., c'est-à-dire par les différentes puissances de 2.

(1) *Ann. de physique et de chimie*, 1re série, t. XLIV, p. 327.
(2) *Comptes-rendus* des séances de l'Ac. des sc. de Paris, t. XX.

Le *la* absolu adopté par les physiciens est donc le la_3, correspondant à $512 \times \frac{5}{3} = 853,33$.

On comprend maintenant toute l'importance de la valeur du diapason dans les différents théâtres, et l'utilité d'un diapason uniforme pour tous les instruments.

Les divers diapasons peuvent, selon leur valeur absolue, forcer le chanteur à produire un même chant avec des nombres de vibrations absolues très différents.

Voici quelques valeurs approchées des diapasons des différents théâtres :

			Nombre de vibrations.
Diapason normal			853,33
Théâtres	de Berlin		874,64
	de Saint-Pétersbourg		872,00
	de Paris	Opéra	862,68
		Opéra-Comique	855,22
		Italien	848,34

Formation, propagation et constitution des ondes sonores.

Si l'on suppose qu'après avoir comprimé en tous ses points une sphère élastique, on l'abandonne ensuite à elle-même, elle éprouvera des dilatations et des contractions alternatives qui dureront tout le temps que les molécules emploieront pour reprendre leurs positions d'équilibre. Chaque dilatation comprimera une couche d'air d'une certaine étendue; cette couche comprimée représentera un ébranlement. Chaque contraction de la sphère produira une dilatation dans l'air environnant; ce sera un nouvel ébranlement. Le premier sera *condensé*, le second *dilaté*.

L'ensemble des deux ébranlements constitue une *onde sonore*.

Ces condensations et dilatations de l'air se communiqueront de proche en proche à des couches de même épaisseur, et tous les corps situés dans ces couches recevront l'impulsion sonore. Ce mouvement de propagation de l'ébranlement sonore est analogue à celui de l'ébranlement qu'on provoque en laissant tomber un corps sur une nappe d'eau : on voit, dans ce cas, des circonférences de cercle concentriques se développer à la surface de la nappe, et ces circonférences représentent l'ébranlement primitif qui impulsionne successivement toutes les parties du liquide.

La membrane du tympan, soumise à l'action périodique de ces ébranlements condensés et dilatés, éprouvera un mouvement oscillatoire qui aura la même durée et la même période que celui du corps sonore, et nous procurera la sensation du son. Ainsi, l'organe de l'ouïe exécute toujours, dans l'unité de temps, un nombre de vibrations égal à celui des molécules du corps sonore. Il n'est pas nécessaire, pour qu'il y ait un son produit et perçu, que les ébranlements se succèdent dans l'ordre que nous avons indiqué, et qu'une onde soit formée d'un ébranlement condensé et d'un ébranlement dilaté ; il suffit que l'air ou le fluide, dans lequel l'organe de l'ouïe est plongé, soit soumis à une action périodiquement variable. Ainsi, la sirène donne lieu à des ondes condensées, séparées par des couches dont les molécules sont au repos. On pourrait imaginer beaucoup d'autres espèces ou périodes d'ébranlement : ce sont les variétés de ces périodes qui, en modifiant la constitution intime et la forme des ondes sonores, semblent déterminer le timbre des différents sons.

Tout mouvement vibratoire est analogue à celui d'un pendule ; les molécules

vibrantes, écartées de leurs positions d'équilibre, y reviennent avec une vitesse d'abord *croissante*, mais qui décroît ensuite pour devenir nulle et changer de signe. Il résulte de cette espèce de mouvement que les différentes couches d'air, qui constituent un ébranlement, possèdent des pressions différentes, de telle sorte que, dans un ébranlement condensé, la densité de l'air augmente d'une extrémité vers le milieu pour diminuer ensuite jusqu'à l'autre extrémité : c'est l'inverse dans l'ébranlement dilaté. Nous ajouterons que, dans ces deux ébranlements, condensé et dilaté, les vitesses oscillatoires des molécules d'air sont de signes contraires.

Si L est la longueur d'une onde sonore, V la vitesse du son dans une certain milieu, T la durée de la vibration des molécules du corps sonore, et N le nombre de vibrations qu'elles exécutent dans l'unité de temps, on aura $V = \frac{L}{T} = LN$.

Il est visible, en effet, que le son a parcouru dans ce milieu, et d'un mouvement uniforme, l'espace L pendant le temps T de l'oscillation du corps sonore. Nous adopterons le nom d'*onde sonore* pour désigner un seul ébranlement, et nous aurons soin d'indiquer les circonstances dans lesquelles le même nom sera appliqué à l'onde entière correspondant à la double oscillation du corps sonore.

Pour compléter les notions générales qui précèdent, il nous resterait à parler de la communication des mouvements vibratoires ; mais nous croyons devoir renvoyer, pour plus de clarté, ce que nous avons à dire sur ce sujet, après l'exposé des lois des vibrations.

Lois des vibrations.

Vibrations des colonnes d'air.

Nous considérerons d'abord un tuyau très étroit relativement à sa longueur, et fermé à l'une de ses extrémités.

Lorsqu'à l'extrémité ouverte d'un pareil tuyau on fait vibrer un corps sonore quelconque, un timbre ou un diapason, etc., on constate que, pour entrer en vibration et renforcer le son, ce tuyau doit pouvoir être partagé en un nombre impair de demi-longueurs de l'onde aérienne correspondant au son obtenu.

Le tuyau est-il ouvert à ses deux extrémités, il entrera en vibration et renforcera le son produit à l'une d'elles, quand sa longueur pourra être divisée en un nombre pair de parties égales à une demi-longueur d'ondulation aérienne correspondant au son excité.

Ces lois, connues sous le nom de lois de D. Bernouilli (1), entraînent les conséquences suivantes :

Le son le plus grave ou son fondamental, qu'un tuyau fermé puisse rendre, a pour longueur d'onde deux fois la longueur de ce dernier.

Pour le tuyau ouvert, le son le plus grave correspond à une longueur d'onde égale à celle du tuyau.

Un tuyau fermé sonne l'octave grave d'un tuyau ouvert de même longueur.

Des tuyaux, soit fermés, soit ouverts, mais de longueurs différentes, produisent

(1) *Mém. de l'Acad. des sciences de Paris*, année 1762.

des sons fondamentaux qui ont pour rapports les rapports inverses de leurs longueurs.

Un même tuyau peut rendre une série de sons déterminés qu'on nomme *harmoniques*, et dont les longueurs d'onde sont : pour un tuyau fermé, les $\frac{2}{1}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{2}{5}$, etc., de sa longueur, et, pour un tuyau ouvert, les $\frac{2}{2}$, $\frac{2}{4}$, $\frac{2}{6}$, etc., de la longueur de celui-ci.

Les harmoniques successifs d'un tuyau fermé donneront des nombres de vibrations qui offriront, entre eux, les rapports des nombres impairs et seront, en désignant par ut_1 le son fondamental

ut_1	sol_2	mi_3	la_3 # +	$ré_4$	fa_4 # —	la_4^b +	si_4, etc.
1	3	5	7	9	11	13	15

Dans les tuyaux ouverts, les harmoniques suivent la série des nombres naturels et sont :

ut_1	ut_2	sol_2	ut_3	mi_3	sol_3, etc..
1	2	3	4	5	6

Lorsque des ondes sonores se propagent dans un tuyau, elles éprouvent contre le fond d'un tuyau fermé, ou contre l'air extérieur dans un tuyau ouvert, une *réflexion* en vertu de laquelle elles reviennent vers leur origine. On se représente, analogiquement, cette disposition des ondes sonores, en introduisant dans une chambre noire, et par une petite ouverture, un rayon lumineux qu'on fait réfléchir sur une glace de manière que le rayon *réfléchi* coïncide avec le rayon incident.

Les molécules des ondes réfléchies ayant un mouvement oscillatoire opposé à celui des ondes directes, il existe dans les tuyaux sonores des surfaces invariables, quant à leur position, qui sont les lieux de rencontre de molécules ayant des vitesses égales et contraires, et dont les mouvements s'entrecroisent : ces surfaces se nomment *surfaces nodales*. Les lieux de rencontre des molécules qui ont des vitesses égales et de même sens et où le mouvement vibratoire a son maximum d'intensité, sont les *ventres* de vibrations. Dans les *nœuds* ou surfaces nodales, l'air est le plus condensé ou le plus dilaté possible ; dans les *ventres*, il est à l'état naturel.

La condition essentielle pour qu'un tuyau puisse vibrer ou engendrer un son, condition qui a servi de base à la théorie de D. Bernouilli, c'est que les extrémités ouvertes des tuyaux soient des *ventres* de vibrations, et les extrémités fermées des *nœuds*.

Dans les tuyaux fermés, les nœuds sont situés à des distances du fond du tuyau représentées par des nombres pairs de demi-longueur d'ondes, les distances des ventres étant égales à des nombres impairs de demi-longueur d'ondulations. C'est l'inverse pour les tuyaux ouverts.

Les lois précédentes s'appliquent à tous les fluides élastiques.

Quelle que soit la nature du gaz employé pour faire parler un tuyau, les nœuds et les ventres ont toujours la même position, mais le son est différent. En effet, soit L la longueur commune à deux tuyaux fermés, parlant avec deux gaz de nature différente, on aura, en représentant par v et v' les vitesses du son dans les deux fluides, n et n' les nombres de vibrations qu'ils produisent et λ la longueur d'onde égale pour chacun d'eux :

$$2L = \lambda = \frac{v}{n}$$

$$2L = \lambda = \frac{v'}{n'} \text{ et par conséquent } \frac{v}{v'} = \frac{n}{n'}.$$

Si nous représentons maintenant par L et L′ les longueurs de deux tuyaux qui donnent le même son avec deux gaz différents, et dans lesquels v et v' expriment les vitesses de propagation du son, λ et λ' les longueurs d'ondulations correspondantes au même son, et n le nombre égal de vibrations pour chacun des gaz, on aura :

$$2L = \lambda = \frac{v}{n}$$

$$2L' = \lambda' = \frac{v'}{n} \text{ et, par suite, } \frac{L}{L'} = \frac{\lambda}{\lambda'} = \frac{v}{v'}$$

c'est-à-dire que les deux tuyaux devront avoir des longueurs proportionnelles aux vitesses du son dans les deux gaz. Tels sont les principes qu'ont adoptés les physiciens pour trouver la vitesse du son dans les fluides gazeux.

Les sons d'un même tuyau changent avec la température. Soient, en effet, n et n^o les nombres de vibrations qu'un même tuyau ouvert, de longueur L, peut rendre en donnant le son fondamental à t^o ou à 0° ; on aura $v = Ln$ et $v_o = Ln_o$, v et v_o étant les vitesses du son dans le gaz à t^o ou à 0°. Les équations précédentes donnent $\frac{v}{v_o} = \sqrt{1 + at^o} = \frac{n}{n_o}$, a étant le coefficient de dilatation des gaz. Ainsi, le son monte avec la température.

Les lois de Bernouilli, que nous venons d'exposer, ne sont sensiblement exactes et vérifiées que pour des tuyaux très longs relativement à leur diamètre et embouchés à plein orifice. Dans tout autre cas, les sons dépendent de la forme des tuyaux, du mode d'embouchure et de plusieurs autres circonstances qui ont rendu impossible, jusqu'à présent, une théorie générale des tuyaux sonores.

Vibrations des corps solides.

1° *Vibrations des corps rigides par eux-mêmes.*

a. — *Vibrations longitudinales des verges*, etc. — Les corps rigides et les cordes, quand on les frotte parallèlement à leur longueur, produisent des sons d'après les mêmes lois que nous avons établies pour les gaz. Les nœuds et les ventres, qu'on obtient dans les verges ébranlées parallèlement à leur longueur, sont distribués de la même manière que dans les tuyaux. Une verge libre suit les lois d'un tuyau ouvert, tandis qu'une verge fixée à l'une de ses extrémités se divise comme un tuyau fermé à l'un de ses bouts.

Une tige fixée à ses deux extrémités, ou une corde tendue, obéit aux mêmes lois qu'un tuyau qui serait fermé à ses deux extrémités et embouché au milieu.

Pour exciter, dans les corps solides, des vibrations longitudinales ou parallèles à *leur plus grande* dimension, il faut les tenir entre les doigts ou les fixer en un point *qui doit être un nœud*, afin de ne pas empêcher le mouvement des molécules, et

les frotter avec du drap enduit de colophane, ou pour le verre, avec du drap imbibé d'eau acidulée.

Les vibrations longitudinales des corps solides y déterminent des compressions et dilatations périodiques, d'où résultent des flexions et des mouvements de totalité perpendiculaires à la longueur. Ces mouvements périodiques produisent dans l'air ambiant des impulsions sonores, qui sont les plus intenses, et dont le nombre de vibrations est le même que celui des molécules douées d'un mouvement longitudinal ou parallèle à la longueur des corps.

Si l'on désigne par λ la longueur d'une verge solide, par n le nombre de vibrations correspondant au son le plus grave qu'elle donne en vibrant longitudinalement, et par v la vitesse du son dans cette verge solide, on aura, comme pour les gaz : $v = \lambda n$.

Cette loi très simple a fourni aux physiciens un moyen indirect pour déterminer la vitesse du son dans les corps solides.

b. — *Vibrations transversales des verges*, etc. — Les vibrations transversales des verges sont parallèles à la ligne qui représente leur épaisseur, et, conséquemment, perpendiculaires à la longueur et à la largeur. Dans les cordes, elles sont seulement perpendiculaires à la longueur.

L'étude des vibrations transversales des lames et des cordes offre une grande importance et mérite toute notre attention, des physiologistes ayant fondé la théorie de la voix sur des vibrations de cette nature.

Une verge solide peut être placée dans les six conditions suivantes :

1° libre aux deux extrémités ; 2° appuyée par les deux extrémités ; 3° fixée aux deux extrémités ; 4° fixée à un bout et appuyée à l'autre ; 5° libre à une extrémité, appuyée à l'autre ; 6° libre à un bout et fixée à l'autre.

Si l'on compare entre elles plusieurs verges de même nature, placées dans les mêmes conditions et produisant les sons fondamentaux ou des harmoniques de même ordre, on trouve : *a*, que la largeur des lames est sans influence sur le nombre de vibrations ; *b*, que le nombre des vibrations est proportionnel à l'épaisseur de la verge ; *c*, qu'enfin le nombre de vibrations est réciproquement proportionnel au carré de la longueur de la verge.

La formule suivante comprend ces trois principes :

$$n = \frac{Ke}{L^2}.$$

n, nombre de vibrations ; K, coefficient constant dépendant de la nature de la verge ; e, épaisseur de la verge ; L, longueur.

Lorsqu'une lame vibrant transversalement produit des harmoniques, elle se partage en plusieurs parties séparées par des lignes de repos ou lignes nodales qui jouent, par rapport aux portions vibrantes, le même rôle que des points fixes. De chaque côté de ces lignes, qu'on nomme encore *axes de flexion*, les parties vibrantes oscillent en sens opposé.

Euler (1), ayant soumis au calcul le phénomène des vibrations transversales des verges, a donné des formules qui expriment toutes les lois de ce phénomène. Plus tard, d'autres géomètres ont repris cette question et sont arrivés aux mêmes résul-

(1) *Actes de l'Acad. de St-Pétersb.*, 1779.

tats (1). D'après Euler, les harmoniques que donnent les verges vibrant transversalement sont entre eux dans les rapports des carrés de certains nombres qui dépendent des conditions dans lesquelles on place le corps vibrant. Il a, de plus, établi les positions des nœuds, et Chladni a vérifié expérimentalement les résultats des calculs d'Euler.

Savart (2) a fait de nombreuses expériences sur les vibrations des verges, et il a trouvé des différences notables entre l'expérience et le résultat du calcul, surtout lorsqu'il produisait un grand nombre d'harmoniques, trente ou quarante sur une même lame.

Lissajou (3) a de nouveau vérifié, dans quelques cas, les résultats trouvés par Euler.

D étant la distance entre deux nœuds, a la longueur de la verge, et n le nombre des harmoniques, on a

$$D = \frac{2a}{2n-1}$$

Quand, à l'aide d'un archet, on fait résonner une verge pour obtenir des vibrations transversales, on a souvent, outre les lignes nodales transversales, des lignes nodales longitudinales. Chladni avait à tort désigné sous le nom de *vibrations tournantes* ce mode particulier de vibrations normales soumises à la loi suivante : pour les sons fondamentaux et pour des verges différentes, mais de même nature, les nombres de vibrations sont réciproques à la longueur et à la largeur des verges et proportionnels à l'épaisseur.

Les divisions et les sons harmoniques obéissent aux mêmes principes qui régissent les vibrations des colonnes d'air (4).

c. — *Vibrations des plaques.* — Quelles que soient les formes des plaques, leurs sons fondamentaux reconnaissent les lois qui suivent :

Les nombres de vibrations sont réciproquement proportionnels à leurs surfaces, et en raison directe des épaisseurs.

Pour les plaques semblables, les nombres de vibrations sont inversement proportionnels à leurs dimensions linéaires.

Malgré les nombreuses recherches de Chladni et de Savart, on ne connaît pas encore les lois des harmoniques des plaques. Les lignes nodales et les figures nombreuses qu'elles produisent, paraissent liées, d'après Savart, à la position des axes d'élasticité.

2° *Vibrations des corps rendus rigides par tension.*

a. — *Vibrations des cordes.* — Les géomètres se sont beaucoup occupés de ce phénomène et sont arrivés à établir que le nombre des vibrations des cordes est en raison inverse de leur longueur et de leurs diamètres ; qu'il est réciproquement proportionnel aux racines carrées de leur densité, et aussi à celles des poids qui les tendent.

Savart avait reconnu, à l'aide de nombreuses expériences, que ces lois n'étaient

(1) POISSON, *Traité de mécanique*, t. II, 2e édit., p. 366.
(2) *Leçons professées au Collége de France.* — *Journal l'Institut*, 1839, n° 293.
(3) *Ann. de physique et de chimie*, 3e série, t. XXX, p. 385.
(4) SAVART, *Leç. cit.*, 1835.

pas exactes, et il avait admis que les différences entre le calcul et l'expérience devaient être attribuées à la *rigidité* de la corde, dont les géomètres ne tenaient pas suffisamment compte.

Son frère, N. Savart (1), a vérifié cette opinion, et a trouvé qu'en désignant :

Par n le nombre de vibrations théoriques qui est donné par la formule

$$n = \sqrt{\frac{g\,P}{p\,L}} = \frac{1}{R\,l}\sqrt{\frac{g\,P}{\pi\,D}} \quad (*)$$

Par N le nombre de vibrations observées, et par v le nombre de vibrations qu'exécuterait la corde si elle vibrait comme une tige rigide par elle-même, on avait

$$N^2 = n^2 + v^2.$$

Ces formules, suivant une observation de Duhamel (2), s'accordent parfaitement avec la théorie, en regardant la rigidité propre de la corde comme une tension s'ajoutant à celle qui est produite par les poids.

Une corde peut se diviser en plusieurs parties égales et produire des harmoniques correspondant à la longueur de chacune de ses divisions. Souvent ce mode de partage est obtenu sans autre moyen qu'un coup d'archet un peu rapide. Mais on le fait naître facilement en touchant la corde en un point de division.

Lorsqu'une corde vibre et produit le son fondamental, on entend souvent plusieurs harmoniques. Plusieurs auteurs pensent que ces harmoniques sont dus à des subdivisions de la corde principale qui coexistent sans se nuire. Duhamel, pour expliquer les harmoniques, pense que la corde se partage en plusieurs parties vibrantes, dont les oscillations sont indépendantes. La théorie des harmoniques des cordes n'est pas encore satisfaisante.

b. — Vibrations des lames minces. — Les lames minces, très longues relativement à leur largeur, et tendues entre deux points fixes, sont soumises aux mêmes lois que les cordes.

c. — Vibrations des membranes. — Il est difficile de mettre en vibration des membranes tendues sur des cadres : les sons qu'elles produisent sont toujours très graves. On parvient néanmoins à les faire résonner en faisant vibrer en leur présence des corps sonores dont les vibrations leur sont communiquées par l'air interposé. Les lignes nodales qu'on obtient alors sur des membranes, ont la plus grande analogie avec celles des plaques solides, et l'on doit supposer que les lois qui régissent les vibrations de ces dernières, conviennent aussi aux premières (3).

De la communication des mouvements vibratoires.

Lorsque des corps solides sont réunis de manière à former des systèmes, il résulte, des expériences de Savart, que toutes les parties du système vibrent à l'unisson, et que la direction du mouvement moléculaire est toujours parallèle

(1) *Ann. de physique et de chimie*, 3e série, t. VI, p. 5.

(*) g, intensité de la pesanteur ; P, poids qui tend la corde ; R, rayon de la corde ; l, sa longueur ; D, sa densité ; p, son poids et $\pi = 3,1415$.

(2) Rec. cit., 3e série.

(3) F. SAVART, *Ann. de physique et de chimie*, 2e série, t. XXXII, p. 384.

à la direction de l'ébranlement. Ces principes sont vrais, quel que soit le mode de réunion des différentes parties du système.

On peut donc toujours regarder un système de corps réunis comme un tout donnant naissance, quand il entre en vibration, à des systèmes de lignes nodales qui dépendent de sa constitution.

Lorsque des corps sont séparés par des gaz, de l'air, par exemple, les lois précédentes sont encore applicables ; mais, dans ces cas, le corps vibrant moteur, c'est-à-dire celui qui est directement ébranlé, ne détermine, dans les corps voisins, des vibrations énergiques qu'autant que ces derniers peuvent donner le même son ou des harmoniques du premier.

C'est ainsi qu'en ébranlant une corde de basse ou de violon, celle-ci fera vibrer toutes les cordes d'autres instruments capables de vibrer à l'unisson de la première, ou au moins capables de produire un de ses harmoniques.

Bien qu'une corde ne puisse résonner d'une manière très sensible, sous l'influence des vibrations d'une autre corde, qu'autant qu'elle est à l'unisson ou capable de produire ses harmoniques, on ne peut en tirer aucune conclusion contraire aux principes énoncés plus haut. Les vibrations de la corde seulement sont trop faibles. Car si l'on prend une membrane tendue et recouverte de sable, on peut s'assurer qu'elle reçoit par l'air les impulsions de tout corps qui vibre dans son voisinage, et qu'elle produit le même nombre de vibrations que le corps sonore. Il suffit de poser un diapason sur une table d'harmonie ou sur un corps solide, pour obtenir un grand renforcement de son dû au mouvement vibratoire communiqué par le diapason à son support (1).

Conditions générales de la formation du son dans divers instruments de musique.

« C'est depuis longtemps une chose passée en habitude, chez les physiologistes, dit Gerdy (2), de ne point parler de la voix sans assimiler l'organe qui la produit à quelques uns de nos instruments de musique. Pour moi, s'il m'est permis d'opposer mon opinion à celle de tant d'hommes illustres, je crois qu'il serait plus juste de montrer que l'instrument de l'homme n'a point son pareil encore dans les instruments des arts. »

Ce sentiment est le nôtre. Le larynx humain est bien un instrument tout spécial, aussi inimité dans sa perfection qu'admirable dans ses effets. Toutefois, quand il s'agit de chercher à expliquer la production des sons dans cet appareil, on ne saurait se dispenser d'étudier les conditions générales de la formation du son dans les divers instruments, surtout ceux qui imitent le mieux la voix humaine. C'est à cette étude préalable que sont consacrées les pages qui suivent :

Les instruments de musique sont *simples* ou *composés*. Les premiers sont ceux dans lesquels il n'y a aucun moyen de renforcement du son; les seconds sont, au contraire, ceux dans lesquels l'intensité du son est augmentée par les vibrations de pièces accessoires.

(1) F. Savart, *Ann. de physique et de chimie*, 2e série, t. XIV, p. 113 ; t. XXXI, p. 383 ; t. XXXII, p. 384 ; — et *Leçons de physique professées au collége de France;* dans *Journal l'Institut*, année 1839, nos 311, 312, etc.

(2) *Physiol. méd.*, Paris, 1832, t. 1, p. 773.

Parmi les instruments simples, nous citerons le claquebois, le triangle, le violon de fer, etc.

Les instruments composés se divisent en instruments à cordes, à membranes tendues, et en instruments à vent.

Les instruments simples n'offrent aucun intérêt pour l'explication de la voix humaine. Les considérations exposées précédemment et relatives aux vibrations des corps expliquent suffisamment comment ils produisent des sons. Il n'en est pas de même des instruments composés : ceux-ci réclament une étude particulière, dont les résultats pourront d'ailleurs servir à éclairer le sujet qui nous occupe.

Instruments à cordes.

Violon. — Parmi les instruments à cordes, il est le plus remarquable.

En exposant comment les sons se forment et se renforcent dans le violon, nous aurons donné à peu près la théorie de tous les instruments à cordes.

Dans le violon, le son est primitivement dû aux vibrations des cordes obéissant aux lois énoncées plus haut. Mais le son d'une corde isolée serait très faible, si cet instrument n'était pas composé de pièces solides et de fluide gazeux vibrant à l'unisson des cordes et destinés à renforcer le son.

L'intensité d'un son dépend, en grande partie, de la masse d'air choquée par le corps vibrant. Nous citerons, à ce sujet, une intéressante expérience de Pelisow :

On fixe un clou à une muraille, et à ce clou on suspend une corde tendue par un poids. Si l'on fait vibrer la corde, on entend à peine le son; mais si, à l'aide d'une verge solide, on met le clou en communication avec le chevalet d'une basse posée sur une table, on entend la basse fortement résonner à l'unisson de la corde, et le son est considérablement renforcé.

Toutes les parties solides d'un violon n'ont pas d'autre but que de rendre aussi grande que possible la partie vibrante qui communique ses mouvements à l'air extérieur. Ainsi, *l'âme* rend normales les vibrations des tables qui, comme des plaques, oscillent à l'unisson des cordes et de la masse d'air contenue dans le violon; cet air est le corps qui augmente au plus haut degré l'intensité du son.

Dans un violon, les cordes sont donc l'origine de vibrations qui, communiquées à l'air extérieur par les tables et les autres parties solides, acquièrent une intensité très grande par les vibrations du fluide gazeux. Aussi Savart a-t-il rangé les violons parmi les instruments à vent. Il est bien démontré, par les faits précédents, que les cordes vibrantes ne produisent par elles-mêmes que des sons faibles, et, pour ainsi dire, sans effet.

Savart a déterminé les poids nécessaires pour tendre les cordes les plus minces d'un violon, et il a trouvé qu'il fallait un poids de 10 à 11 kilogr. pour la corde qui donne le *la*, etc.

Guitare. — Dans cet instrument, le son est renforcé par les tables et l'air contenu dans la caisse. Mais le son est toujours faible, parce qu'on ne peut rendre les vibrations normales aux tables.

Harpe. — Dans la harpe, le son paraît être principalement renforcé par la table.

Piano. — C'est encore la table et les autres parties solides de cet instrument qui augmentent l'intensité du son.

Ces faits nous révèlent la cause des sons produits dans les circonstances suivantes :

1° En frottant le doigt médius avec le pouce et le faisant choquer sur les autres doigts formant tuyau, si l'on prend dans la main des tuyaux de diverses longueurs, on peut obtenir tous les sons de la gamme.

2° En plaçant un crayon ou une verge de bois sur les dents, on produit, en frappant dessus, tous les sons possibles en augmentant ou diminuant convenablement la cavité buccale ou la masse d'air mise en vibration. Un peu d'habitude suffit pour parvenir à jouer des morceaux de musique avec une intensité de son très remarquable.

3° Si, tenant la bouche plus ou moins ouverte, on frappe sur la joue, on a des sons variés et dus évidemment à la vibration de la colonne d'air.

4° Enfin, en retirant vivement un piston d'un tube, on entend le son du tube, produit par le choc de l'air extérieur.

Dans la crécelle, la lame paraît destinée à choquer l'air de la caisse et à le mettre en vibration. Ce qui prouve que le son n'est pas dû aux chocs successifs de la lame sur les dents du pignon, c'est qu'on change le son en modifiant la forme ou la masse d'air de la caisse; et l'on trouve que le son est toujours celui que rend la caisse de l'instrument, quand on la fait vibrer à la manière des instruments à vent.

Il est d'ailleurs facile de prouver qu'un simple choc suffit pour ébranler une colonne d'air et lui faire produire le son qu'elle rendrait naturellement : si l'on prend, en effet, une série de tuyaux d'orgues et qu'on les choque, on entend le même son qu'en mettant les colonnes d'air en vibration par les moyens connus.

Instruments à vent.

Dans les instruments à vent, le son est produit dans un appareil spécial que nous étudierons en détails, et il est renforcé par une colonne d'air.

Dans l'appareil générateur du son, le mouvement vibratoire résulte de l'écoulement de l'air ou de tout autre fluide gazeux.

Pour bien comprendre la production du son dans les instruments à vent, il importe de connaître les principaux phénomènes que présentent les fluides dans leur écoulement. Ces phénomènes étant les mêmes, quelle que soit la nature du fluide, nous les étudierons d'abord dans les liquides, parce qu'ils y sont plus faciles à observer.

Vu l'importance d'application des beaux travaux de Savart sur l'écoulement des liquides, travaux dont les résultats formeront, pour nous, la base des théories qui seront développées plus tard pour les instruments à vent et la voix des animaux, nous espérons que le lecteur voudra bien nous pardonner l'étendue des détails de physique dans lesquels nous sommes forcé d'entrer (1).

Phénomènes dus à l'écoulement des fluides.

Tous les physiciens qui, jusqu'à Savart, s'étaient occupés de l'écoulement des liquides, n'avaient jamais recherché quelle était la constitution d'une veine liquide.

(1) Ces détails sont empruntés aux leçons de SAVART, professées au collége de France, et publiées par A. MASSON, dans le *Journal l'Institut*, numéros 331, 332, 333, et dans les *Ann. de chim. et phys.*, 2e série, t. LIII, LIV et LV.

Ainsi Dubuat, Bossut, D. Bernouilli, Venturi, etc., malgré leurs nombreux travaux sur l'hydraulique, n'ont fait aucune tentative dans cette direction.

Toute veine liquide, lancée verticalement de haut en bas, par un orifice circulaire pratiqué dans une paroi plane, est toujours composée de deux parties bien distinctes par l'aspect et la constitution.

La partie qui touche à l'orifice est un solide de révolution dont toutes les sections horizontales vont en diminuant continuellement de diamètre : cette première partie de la veine est calme et transparente ; elle ressemble à une tige de cristal.

La seconde partie, au contraire, est toujours agitée et paraît dénuée de transparence, quoiqu'elle soit d'une forme assez régulière pour qu'on puisse voir qu'elle est divisée en un certain nombre de renflements allongés, dont le diamètre maximum est toujours plus grand que celui de l'orifice : la moitié supérieure du ventre ou renflement le plus élevé enveloppe l'extrémité inférieure de la partie limpide, qui se perd au milieu de ce même ventre, et semble se transformer en un tuyau creux qui traverse tous les autres ventres. La longueur et le diamètre des ventres sont d'autant plus considérables que la charge est plus forte.

Pour bien observer cette constitution de la veine, il faut prendre de l'eau fortement colorée par une dissolution d'indigo dans l'acide sulfurique, placer le jet devant une fente percée dans le volet d'une chambre obscure recevant l'action du soleil, et regarder la veine de bas en haut. Celle-ci change d'aspect avec la manière dont on la regarde et avec son mode d'éclairement : si l'on fixe un point élevé du jet et qu'on abaisse brusquement les yeux de manière à suivre le mouvement du point qu'on considère, au lieu de la partie trouble, on n'aperçoit plus que de très grosses gouttes placées verticalement les unes au-dessus des autres, et laissant entre elles des espaces vides huit ou dix fois plus grands que le diamètre des gouttes. D'où il semblerait résulter que la continuité du jet n'est pas réelle, et que l'apparence qu'il présente est due à la persistance de la sensation produite sur la rétine par le passage successif des gouttes espacées d'une certaine manière, et subissant dans leur chute des changements de forme périodiques et susceptibles, par leur retour, à des distances déterminées, de nous donner la sensation de la présence d'un corps qui n'existe réellement pas.

Ces idées sont confirmées par les faits suivants : si l'on passe brusquement un corps mince et étroit à travers la partie trouble de la veine et perpendiculairement à sa direction, il arrive rarement qu'il soit mouillé. Souvent on peut voir très distinctement, à travers une veine liquide, des objets situés de l'autre côté. Si l'on fait passer une planche suffisamment légère et perpendiculairement à travers un jet liquide lancé sous une faible pression, on aperçoit des points mouillés, régulièrement espacés. En laissant écouler du mercure, on remarque qu'il présente la même apparence que l'eau : il est translucide dans toute la partie de son étendue située au dessous du milieu du ventre le plus élevé de la partie trouble, et les corps les plus déliés se voient très distinctement à travers son épaisseur.

Enfin, pour mettre hors de doute la discontinuité de la veine et en étudier tous les détails, on a fait mouvoir, du côté opposé à l'œil, une lanière noire, passée sur deux cylindres et sur laquelle on avait placé, de distance en distance, des bandes transversales blanches. En regardant le jet, pendant qu'elle est animée d'un mouvement ascensionnel d'une vitesse convenable et qu'on ne peut déterminer que par tâtonnement, on voit une image présentant deux parties bien distinctes : *L'une inférieure*, qui se compose de bandes transversales noires et lisses,

et qui correspond à la partie trouble de la veine ; l'autre supérieure, correspondant à la partie limpide, qui paraît immobile comme cela a lieu quand on la regarde directement, mais avec cette différence que, vers son extrémité inférieure, ses bords présentent des saillies à peu près uniformément espacées et qui deviennent d'autant plus fortes qu'elles sont plus voisines de l'extrémité du jet. Cette dernière partie du jet correspond à la moitié supérieure du premier ventre de la partie trouble, et il résulte de là que cette moitié supérieure est formée par des renflements annulaires qui descendent le long du jet, puisque, sans le secours de l'appareil, elle se montre sous l'aspect d'une enveloppe lamelleuse et flottante, tandis qu'avec l'appareil elle paraît composée de saillies immobiles, et qui se correspondent sur deux arêtes quelconques et opposées de la veine.

L'expérience précédente montre que la partie trouble de la veine est composée de gouttes bien distinctes les unes des autres, qui subissent pendant leur chute des changements périodiques de forme, auxquels sont dues les apparences des ventres ou renflements régulièrement espacés, que l'inspection directe fait reconnaître dans cette partie de la veine dont la continuité apparente dépend de ce que les gouttes se succèdent à des intervalles moindres que la durée de la sensation produite sur la rétine par chaque goutte en particulier. Les gouttes isolées qui forment la partie trouble de la veine résultent de renflements annulaires, qui prennent naissance très près de l'orifice et qui se propagent, à des intervalles de temps égaux, le long de la partie limpide de la veine, en augmentant de volume à mesure qu'ils descendent, et qui, enfin, se séparent de l'extrémité inférieure de la partie limpide et continue de la veine, à des intervalles de temps égaux à ceux de leur production et de leur propagation.

Nous ajouterons qu'on peut s'assurer de la constitution de la veine liquide, décrite par Savart, soit en éclairant cette veine par une forte étincelle électrique provenant d'une bouteille de Leyde, soit par le procédé très ingénieux indiqué par Billet (1). Billet fait couler la veine liquide devant un miroir sphérique, concave un peu au delà du centre de courbure, et obtient alors une image renversée et réelle de la veine placée un peu en deçà du centre et en face de la première. Ces deux veines, se mouvant en sens contraire et avec la même vitesse, font apercevoir a veine réelle comme si elle était fixe.

Les résultats précédents, sur la constitution de la veine, sont la conséquence de l'expérience suivante : On prend un vase cylindrique dont le fond supérieur est muni d'un entonnoir par lequel s'introduit le liquide, et dont le fond est percé d'une petite ouverture de 2 à 3 millimètres de diamètre, à laquelle s'adapte un tube de verre de 1 centimètre environ. On peut, en modifiant convenablement l'ouverture du robinet, obtenir un écoulement goutte à goutte se succédant à des intervalles plus ou moins éloignés. On dispose, derrière le jet vertical, un écran noir en face duquel l'observateur se place. Ce dernier produit des gouttes qui se succèdent à un cinquième de seconde d'intervalle, et alors il a la sensation d'un jet continu. Il est facile d'estimer, par le choc que font les gouttes en tombant, le temps qui s'écoule entre la formation de deux gouttes successives.

En examinant attentivement la formation des gouttes, on voit distinctement que le liquide s'accumule peu à peu à l'orifice du tube en affectant la forme d'une petite masse arrondie par le bas, et qui va en grossissant jusqu'à une certaine limite

(1) *Ann. de phys. et de chimie*, 3e série, t. XXXI, p. 328.

passé laquelle elle s'allonge subitement pour projeter une goutte de 5 à 6 millimètres de diamètre, constamment suivie d'une seconde goutte d'un diamètre beaucoup moindre ; et après avoir lancé ces deux gouttes, la petite masse de liquide, qui est restée adhérente à l'orifice, se relève brusquement pour reprendre momentanément sa première forme arrondie, puis elle s'allonge pour se raccourcir de nouveau, et ainsi de suite, en faisant de véritables oscillations qui durent jusqu'à ce que son volume augmentant graduellement par l'arrivée du liquide, elle projette de nouveau deux gouttes d'inégal diamètre. D'un autre côté, on observe que, quand les gouttes d'un plus grand diamètre sont sur le point de se détacher, elles sont arrondies par le bas, effilées par le haut, et qu'à l'instant où la séparation s'opère elles se contractent sur elles-mêmes avec tant d'énergie, qu'elles lancent toujours plusieurs gouttelettes dans différentes directions.

Il est clair maintenant : 1° Que la continuité apparente des deux jets dépend de ce que la durée du passage successif des deux gouttes par un même point est moindre que la durée de la sensation produite par chacune d'elles sur la rétine ; 2° que l'apparence des deux jets concentriques est due à ce que les deux séries de gouttes d'inégal diamètre donnent lieu chacune à l'apparence d'un jet distinct ; 3° que les renflements ou ventres de ces jets apparents dépendent de ce que les gouttes, après s'être contractées sur elles-mêmes, au moment de leur départ, tendent sans cesse, en vertu de la force attractive qui sollicite leurs particules, à affecter la forme sphérique à laquelle elles ne peuvent néanmoins parvenir qu'après une suite de contractions et d'allongements périodiques, pendant la durée desquels elles revêtent des formes sans doute très compliquées, mais dont le caractère général doit consister en ce que leur diamètre transversal atteint périodiquement deux limites extrêmes de grandeur. Or, on conçoit sans peine que ces variations périodiques du diamètre transversal des gouttes ayant lieu pendant leur mouvement de translation, il doit en résulter, attendu la persistance de l'impression faite sur la rétine, l'apparence d'un jet présentant des renflements espacés d'une manière régulière.

La production et la propagation des renflements annulaires, ainsi que l'émission des gouttes qu'ils engendrent lors de leur arrivée à l'extrémité du jet, ont lieu avec une grande régularité, et à des intervalles de temps égaux entre eux.

En effet, en approchant l'oreille très près de la partie trouble d'une veine, on entend un son qui dépend uniquement du choc des gouttes et des renflements contre l'air, et qui, étant très faible, peut être rendu plus énergique en laissant arriver le jet sur une membrane tendue horizontalement, ou sur le fond d'un vase de métal. On peut prendre le son avec un violon et l'on constate qu'il est le même pour tous les points de la veine. Il n'est donc pas douteux que les renflements annulaires du jet se succèdent à des intervalles de temps égaux, et que les gouttes, qu'ils forment en arrivant à l'extrémité du jet, soient soumises dans leur émission à la même périodicité.

Le nombre des oscillations qui résultent du choc de la partie trouble est directement proportionnel à la vitesse de l'écoulement ou à la racine carrée de la charge, et en raison inverse du diamètre des orifices.

Les renflements annulaires, dont la succession produit tous les phénomènes que présente une veine fluide, sont engendrés par une succession périodique de pulsations qui ont lieu à l'orifice même, de sorte que la vitesse de l'écoulement au lieu d'être uniforme est périodiquement variable. Ce qui prouve que c'est à l'orifice que le phénomène prend naissance, et qu'il se produit comme nous venons de

l'indiquer, c'est que la résistance de l'air n'a aucune influence sensible sur la forme et la dimension de la veine, non plus que sur le nombre des pulsations, comme on s'en est assuré en laissant tomber le jet dans un grand tube vide d'air.

L'amplitude des vibrations peut être considérablement augmentée par des vibrations de même période communiquées à la masse entière du liquide et aux parois du réservoir qui le contient. Cela a été constaté en faisant produire à des violons ou des basses des sons à l'unisson de ceux du liquide. A une distance très grande, la constitution de la veine est subitement changée sous l'influence de ces différents sons qui agissaient sur la masse entière du liquide et non sur la veine elle-même, puisque le phénomène se passait de la même manière quand la veine était dans le vide.

Ce qui démontre ce fait important, que la période des oscillations ne dépend point des dimensions de la veine, et que cette période est réglée par les circonstances mêmes du passage du liquide à l'orifice, c'est que les modifications imprimées à la veine par les ondes sonores dépendent uniquement de l'action qu'elles exercent sur les parois du vase, et qu'elles sont bien plus marquées quand le corps sonore, qui peut être un timbre, un diapason ou un violon, est directement en contact avec le réservoir.

Sous l'influence des ondes sonores, la longueur de la partie limpide et continue du jet peut se réduire presque à rien ; tandis que les ventres de la partie trouble acquièrent une régularité de forme et une transparence qu'ils ne possèdent pas ordinairement. Lorsque le nombre de pulsations qui a lieu à l'orifice est différent du nombre de vibrations communiquées, il peut être altéré, mais seulement dans certaines limites; ce qui établit un nouveau fait de la réaction des corps en vibration et vient confirmer la généralité des principes admis à ce sujet. On peut même obtenir des battements produits par la réaction des ondes d'une corde, d'un diapason, et les oscillations de la veine qu'on voit remonter à chaque battement.

Les phénomènes qui viennent d'être énoncés restant les mêmes lorsqu'on a soustrait le réservoir à l'action de toute espèce d'onde sonore, et ne dépendant ni de la nature du liquide, ni de sa température, et le nombre des pulsations étant déterminé uniquement par la vitesse de l'écoulement et le diamètre des orifices, on a été conduit à penser que la pesanteur était la seule cause des phénomènes, et que ceux-ci étaient dus à de très petites oscillations de la masse entière du fluide, dont la partie centrale s'abaisse tandis que la partie la plus extérieure est animée d'un mouvement en sens contraire. Dans cette supposition, toutes les tranches horizontales du fluide seraient le siége d'un mouvement analogue à celui d'un disque libre sur son contour, et qui exécute des vibrations normales en se divisant en deux parties vibrantes séparées par une seule ligne nodale circulaire.

L'ensemble des circonstances qui accompagnent ce mouvement oscillatoire fait présumer qu'il est produit de la manière suivante : Au moment où l'on ouvre l'orifice, les filets fluides se précipitent en vertu de la pesanteur, et, comme ils ne peuvent pas tous passer en même temps, ils se pressent à l'orifice, y forment une espèce de ventre qui éclate tout à coup en lançant périodiquement du fluide au dehors. Il y aurait ainsi des maxima et des minima de vitesse dans l'écoulement du liquide.

L'expérience suivante prouve encore que c'est à l'orifice qu'a lieu le mouvement *vibratoire* : une basse est mise en communication avec le réservoir ; la veine se *raccourcit* comme si l'on produisait un son ayant le même nombre de vibrations *qu'elle-même.*

La constitution des veines lancées horizontalement ou même obliquement par des orifices circulaires de bas en haut, ne diffère pas essentiellement de celle des veines lancées verticalement de haut en bas; seulement le nombre des pulsations paraît devenir d'autant moindre, que le jet approche plus d'être lancé verticalement de bas en haut. Quelle que soit la direction de la veine, son diamètre décroît toujours très rapidement jusqu'à une petite distance de l'orifice.

Mais, quand la veine tombe verticalement, le décroissement continue jusqu'à ce que la partie limpide se perde dans la partie trouble. Il en est encore de même quand la veine est lancée horizontalement, quoique alors le décroissement suive une loi moins rapide. Lorsque le jet se fait obliquement de bas en haut et qu'il forme avec l'horizon un angle de 25 à 45 degrés, toutes les sections normales à la courbe qu'il décrit, deviennent sensiblement égales entre elles à partir de la section contractée qui touche à l'orifice. Enfin, pour des angles plus grands que 45 degrés, le diamètre de la veine va en augmentant depuis la partie contractée jusqu'à la naissance de la partie trouble; de sorte que c'est seulement alors qu'il existe une section qu'on peut à juste titre appeler *section contractée*.

Entre 25 et 45 degrés la veine présente une particularité remarquable : les gouttes dont est composée la partie trouble ne décrivent pas toutes une courbe unique, mais elles forment une sorte de gerbe dont la discontinuité est partout manifeste, et qui est composée de gouttes qui décrivent des courbes paraboliques contenues dans un même plan vertical. Cet éparpillement de gouttes dans un même plan vertical paraît dépendre de ce que la partie continue de la veine est le siége d'un mouvement irrégulier de vibration déterminé par la vitesse périodiquement variable de l'écoulement, et sans doute aussi par le mode de séparation des gouttes elles-mêmes, qui alors ne s'opérerait pas d'une manière aussi régulière que quand le jet tombe verticalement.

Les mouvements vibratoires extérieurs ont encore une grande influence sur la régularité de la veine. Quelle que soit la forme de l'orifice, la constitution de la veine est toujours la même ou au moins analogue.

L'influence des ondes sonores sur la veine peut donner naissance à un phénomène dynamique très remarquable : On prend un réservoir duquel le liquide s'écoule sous une pression constante, on reçoit le jet sur la petite branche d'un siphon dont la grande branche verticale, comme la petite, s'élève au-dessus du niveau du réservoir ; le liquide provenant de la veine remplit le siphon, et le niveau s'élève dans le tube au niveau de l'eau dans le réservoir. Si, dans ce moment, on produit près de la masse liquide un son dont le nombre de vibrations soit le même que celui de la colonne liquide, ce liquide descend brusquement dans la grande branche du siphon pour remonter ensuite aussitôt que le son cesse.

Après avoir examiné la constitution de la veine fluide et le mouvement vibratoire dont cette veine est le siége, il était important de rechercher si, en lui faisant subir des altérations dans sa forme et dans sa nature, cet état vibratoire se conservait.

Si l'on reçoit la veine fluide sur un disque circulaire, plan et horizontal, ou sur le sommet d'un cône, on trouve que les modifications qu'elle subit après le choc dépendent du diamètre de l'orifice et de celui du disque; qu'elles varient, avec la vitesse d'écoulement du liquide, sa nature et sa température. Il est facile d'acquérir une idée nette de ces modifications au moyen d'un appareil composé d'un tube de verre d'environ 1 décimètre de diamètre et de 2 mètres de hauteur, dont l'extré-

mité inférieure est fermée par une platine de métal percée à son centre d'un orifice de 5 à 15 millimètres de diamètre. Ce tube étant solidement assujetti dans une position verticale et préalablement rempli d'eau, on place à 1 ou 2 centimètres au-dessous de l'orifice un disque de métal monté sur une tige d'un petit diamètre, ayant à peu près 70 centimètres de hauteur, et fixée sur un support convenablement disposé pour qu'on puisse donner à la surface du disque une direction horizontale, et faire coïncider son centre avec la verticale qui passe par le centre de l'orifice.

Pour fixer les idées, nous supposerons que le diamètre du disque soit de 27 millimètres de diamètre, et le diamètre de l'orifice de 12 millimètres. A l'instant où l'écoulement est établi, le liquide étant préalablement parfaitement calme dans le tube, la veine, après avoir frappé le disque, se répand dans tous les sens et forme une nappe circulaire et continue qui a la forme d'un parapluie, et dont le diamètre a environ 60 centimètres. La partie centrale est mince, unie et transparente; mais son pourtour, qui a une plus grande épaisseur, est trouble et se présente sous la forme d'une zone annulaire recouverte d'un grand nombre de stries rayonnantes, coupées par d'autres stries circulaires, qui projettent au loin une multitude de petites gouttelettes. Ces nappes ne sont jamais calmes; elles sont le siége d'un mouvement périodique d'élévation assez rapide pour donner naissance à un son sourd, analogue à celui que produisent pendant le vol les ailes de certains oiseaux. On remarque également que leur diamètre croît et décroît périodiquement d'une petite quantité, et ces alternatives se répètent un assez grand nombre de fois, dans une seconde, pour donner naissance à un son sourd et soutenu, lorsqu'on approche un corps solide ou une membrane tendue jusqu'au contact de l'orifice. Le niveau du liquide dans le tube s'abaissant continuellement, le diamètre de la nappe s'agrandit peu à peu, en même temps que la partie auréolée change d'aspect; elle devient plus transparente, sa largeur diminue, elle se couvre de bosselures, et enfin elle disparaît entièrement quand la pression intérieure n'est plus que de 60 à 62 centimètres : la nappe atteint alors son plus grand diamètre, qui est d'environ 50 centimètres, et elle se présente sous la forme d'une large capsule dont la concavité est tournée en bas et dont le contour libre, légèrement dentelé, lance un grand nombre de gouttes qui partent des angles saillants des dentelures. La pression à l'orifice continuant toujours à décroître, la nappe unie que nous venons de décrire diminue graduellement de diamètre, mais en même temps elle se recourbe sur elle-même à sa partie inférieure, en se portant vers la tige qui contient le disque; et, à la pression de 32 ou 33 centimètres d'eau, elle se ferme entièrement en revêtant la forme d'un solide de révolution ayant environ 40 centimètres de diamètre et 15 de hauteur, dont la surface est parfaitement unie et dont la génératrice ressemble beaucoup à une demi-lemniscate. A partir de cet instant, la nappe décroît insensiblement de volume; mais, quand la pression n'excède pas 10 à 12 centimètres d'eau, sa forme change brusquement : sa partie inférieure devient tout à coup concave en se relevant au-dessus du disque; puis, après un temps fort court, la première forme reparaît, et ces changements instantanés se renouvellent périodiquement sept ou huit fois, jusqu'à ce que la nappe, diminuant toujours de volume, finisse par disparaître entièrement.

Afin d'étudier le phénomène dans toutes ses particularités, on s'est procuré un *écoulement* constant et sous une pression variable, et l'on a observé que, pour *toutes les pressions*, le mouvement vibratoire de la veine se communique à la

nappe, quelle qu'en soit la forme; que les auréoles jouissent de la faculté de rendre des sons par suite des chocs qu'elles exercent contre l'air, et que ces sons acquièrent beaucoup plus d'intensité lorsqu'on présente au choc de cette partie de la nappe un corps solide, dont le plan fait avec sa surface un angle de 45 degrés. On observe en outre, quand l'écoulement est constant, que le degré d'acuité des sons varie avec la distance à laquelle le corps choqué se trouve du bord interne de l'auréole, le son étant plus grave quand ce corps se trouve plus près du bord libre de la nappe. Le diamètre des orifices ne paraît exercer aucune influence sur le nombre de ces vibrations; mais l'épanouissement de la veine, occasionné par la présence du plan circulaire, a pour résultat de diminuer le nombre des oscillations de la partie libre de la veine. Car une veine donnait dans une expérience le son $si_4^b = 1843$ vibrations, et, pour un orifice de 3 millimètres, elle produisait, en s'épanouissant, le son $mi_3 = 640$ vibrations.

Pour obtenir un son sous une grande pression, on a placé de l'eau dans une machine de compression ordinaire où l'on a condensé l'air jusqu'à lui donner une pression de six atmosphères : dans ce cas, les sons qui résultent du choc de l'auréole contre un corps solide acquièrent une grande pureté et une grande intensité, et l'on constate qu'ils deviennent d'autant plus aigus que la pression est plus forte.

Il paraît encore que les nombres de vibrations sont proportionnels à la vitesse d'écoulement.

La direction du jet n'a aucune influence sur les phénomènes qui viennent d'être examinés, lorsque la pression est très grande. Mais, quand celle-ci est assez faible pour que l'action de la pesanteur lui soit comparable, cette dernière force apporte dans la forme des nappes des modifications qui varient avec la direction du jet.

Dans tous les cas, la nappe est le siége d'un mouvement vibratoire analogue à celui d'un jet tombant librement; ce qui s'explique très bien, puisque les nappes ne sont autre chose que le développement de la veine, avec ses renflements annulaires. Pour mieux rendre notre pensée, nous dirons que la nappe s'ouvre comme un parapluie, et que le renflement annulaire de l'extrémité de la partie pleine du jet forme les stries annulaires de la nappe.

La température du liquide influe sur tous ces phénomènes. Le diamètre de l'orifice et celui du disque restant constants, au maximum de densité de l'eau, le diamètre des nappes atteint son maximum: il devient nul au terme d'ébullition et à la température de 1 à 2 degrés centigrades, ce qui indique évidemment qu'à cette température les molécules sont dans un état d'équilibre instable avant d'arriver à la congélation.

La nature du liquide exerce une très grande influence sur le diamètre des nappes, toutes circonstances étant égales d'ailleurs. On pourrait penser que ce phénomène de flottement et de vibration de la nappe dépend du frottement ou de l'adhérence du liquide au disque ou au cône; mais il n'en est rien, comme on peut s'en assurer par l'expérience suivante : Deux vases sont munis à leur partie inférieure de deux tubes cylindriques coudés, tournés en sens contraire et terminés coniquement; ces tubes sont placés de manière que le liquide d'un vase puisse choquer le liquide de l'autre vase. Le niveau de l'eau dans chaque vase est maintenu le même au moyen d'un siphon dont les branches sont égales. Lorsque l'écoulement a lieu, on observe une très belle nappe auréolée, toute semblable à celle qui a lieu par le choc d'une veine contre un disque. Les vibrations d'une basse ou de tout autre corps sonore apportent dans cette nappe les modifica-

tions qu'elles impriment aux autres nappes; d'où nous pouvons conclure que le réservoir est le siége du mouvement oscillatoire qui se communique aux nappes ou à un jet liquide simple, et que ce mouvement ondulatoire se conserve dans la veine, quelles qu'en soient la forme et les modifications. Nous voyons en outre que, bien que ces modifications produites dans l'état des veines par la rencontre d'un disque circulaire soient très grandes, il est néanmoins évident que les circonstances les plus générales de cet état ne sont pas changées, et que tout se passe à peu près comme si le liquide, au lieu de sortir d'un orifice circulaire et de s'épanouir sur un disque, sortait directement par un orifice annulaire formé par les bases de deux tuyaux cylindriques placées sur le même axe, et qui laisseraient entre elles un petit intervalle par lequel le liquide s'écoulerait. En effet, il y a la plus grande analogie entre la partie auréolée des nappes et la partie trouble des veines; l'une et l'autre rendent des sons soit par les chocs périodiques qu'elles exercent contre l'air, soit par ceux qu'elles produisent contre les corps solides qu'on leur présente. D'un autre côté, les nombres de vibrations de l'auréole deviennent, comme ceux des pulsations à l'orifice, d'autant plus grands que la pression est plus considérable, et ils paraissent proportionnels à la vitesse de l'écoulement.

Les différences principales entre l'état des nappes et celui des veines consistent en ce que le son de l'auréole ne paraît nullement influencé par le diamètre de l'orifice et que le son change avec la position du corps solide par rapport à la partie trouble de la veine.

Lorsque la veine tombe, non plus sur un disque circulaire qui lui soit perpendiculaire, mais sur un corps tranchant, par exemple le bord d'un vase ou une lame de couteau, le phénomène restera encore le même au fond; la forme seule de la nappe sera changée, mais celle-ci sera toujours animée d'un mouvement oscillatoire; chacune de ses parties, quel qu'en soit le nombre, sera le siége d'un mouvement vibratoire qu'elle pourra communiquer. Rien, en un mot, de ce qui se trouve en dehors du réservoir ne pourra altérer cette constitution particulière de la veine, dont la cause est à l'orifice. Ce mouvement vibratoire qu'elle acquiert, dès son origine, se maintiendra toujours, quelles que soient les modifications qu'elle subisse. Adapte-t-on un tube horizontal à l'appareil d'écoulement, et, au-devant du tube, place-t-on une lame dont le plan contient l'axe du tube, comme le miroir d'un porte-lumière, la veine, en rencontrant cette lame, se partage en deux parties, en deux lames liquides qui oscillent et produisent, par leurs chocs successifs contre l'air, un son très bien déterminé.

Ce mouvement oscillatoire des veines résulte toujours ici de la vitesse périodiquement variable de la veine liquide.

Après avoir étudié l'écoulement dans l'air ou dans le vide, examinons quels phénomènes présente un liquide qui s'écoule dans un milieu de même densité ou de densité différente. Lorsqu'on lance dans le même liquide, et sous une pression plus ou moins forte, une veine fluide, elle ne perd rien de son caractère : le mouvement vibratoire se manifeste comme dans l'air, ce qu'on peut facilement sentir en mettant la main près de l'orifice d'écoulement; on éprouve alors des pulsations dont il est aisé de compter le nombre. Sous l'influence de vibrations imprimées au réservoir, la veine se raccourcit, mais il n'y a pas et il ne peut y avoir de partie discontinue. Nous voyons donc une nouvelle confirmation de ce fait, que

c'est dans le réservoir que se trouve la cause du mouvement oscillatoire, et que l'état vibratoire des veines persiste avec toutes ses particularités, même quand l'écoulement a lieu dans un fluide de même densité. Cela est encore rendu plus évident en faisant écouler un jet d'huile dans un bain d'eau; on aperçoit alors toutes les particularités du phénomène décrit plus haut.

Quand un jet s'échappe dans un liquide de même densité, et qu'il rencontre un corps tranchant, il produit un son très aigu et dont le degré d'acuité dépend : 1° de la vitesse de l'écoulement; 2° de la distance du biseau à l'orifice. Le son est d'autant plus aigu que la vitesse d'écoulement est plus grande, et le biseau plus rapproché de l'orifice. Dans ce cas, il est clair que le mouvement vibratoire des nappes formées par le corps tranchant se communique au liquide, et de là à l'oreille. Si le phénomène se passe dans l'air, le son a moins d'intensité; mais, encore dans ce cas, le mouvement oscillatoire se propage dans l'air, et la preuve, c'est qu'on peut le renforcer par plusieurs moyens, entre autres par une colonne d'air donnant le même son que la colonne ou la nappe liquide. En effet, il était facile de conclure que, les veines oscillant avec une grande énergie, si l'on produisait une nappe de forme quelconque à l'orifice d'un tuyau ou d'une colonne d'air de toute autre forme, celle-ci devrait entrer en vibration par communication et renforcer le son de la veine. On démontre ce fait à l'aide des expériences suivantes : 1° On choisit une grande cloche de 3 décimètres de diamètre et plus; on fixe à son sommet et dans son intérieur une petite tige suppportant un disque circulaire qui arrive presque sur le plan et au centre du bord de la cloche; on fait alors tomber un jet liquide sur ce disque, il se forme une nappe qui couvre la cloche et produit un son très intense en communiquant à l'air son mouvement oscillatoire. 2° On prend une très grande cloche ou un tube d'un grand diamètre, 1 décimètre et plus; on présente son bord au jet liquide, qui le frappe obliquement; le biseau détermine la division de la veine, et il se produit dans l'intérieur du tube ou de la cloche une nappe liquide qui les ferme complétement, et dont on voit parfaitement le mouvement oscillatoire. Les sons qu'on obtient dans ce cas sont très beaux et très purs. L'opercule formé par la nappe intérieure vibre et choque l'air périodiquement. On entend alors un son qui dépend des dimensions du tuyau et de la vitesse du courant liquide.

Les belles recherches de Savart, dont nous venons de donner un extrait, devaient être suivies d'autres travaux destinés à résoudre toutes les questions importantes relatives à l'écoulement des liquides; et, peu de jours avant sa mort, cet illustre savant avait terminé un important mémoire sur les sons produits par les liquides qui s'écoulent par des orifices de différents diamètres. Il est regrettable que ce mémoire n'ait pas encore été publié.

Après l'étude des liquides, Savart devait s'occuper des *fluides élastiques* et compléter ses premiers travaux sur la voix des animaux. Nous ne connaissons de lui, sur ce sujet difficile, que quelques idées émises dans ses leçons au collége de France.

Convaincu que les fluides élastiques obéissent aux mêmes lois que les liquides, et présentent les mêmes phénomènes, Savart (1) avait, pour vérifier cette opinion, tenté diverses expériences que nous allons indiquer.

(1) Dans le journal *l'Institut*, n° 333, p. 172.

Lorsqu'un jet de gaz ou de vapeur s'échappe d'un réservoir, il présente dans son écoulement les mêmes phénomènes que la veine liquide. La veine gazeuse est le siége d'un mouvement oscillatoire qui détermine un écoulement dont la vitesse est périodiquement variable : en un mot, nous retrouvons ici toutes les particularités de l'écoulement des liquides. Pour démontrer qu'il en est ainsi, il faut rendre visible la colonne gazeuse : il suffit, pour cela, d'employer des vapeurs épaisses et colorées ou de mettre une poussière fine dans le gaz. C'est ainsi que la fumée qui s'échappe des cheminées présente visiblement ce phénomène de la sortie par bouffée. Mais on peut produire ce phénomène à volonté avec de la poussière de lycopode. On prend une machine de compression dans laquelle on comprime fortement de l'air ; au robinet s'adapte une boîte pleine de poussière de lycopode que le gaz est obligé de traverser ; puis l'appareil est disposé de manière que le mouvement ait lieu de haut en bas. On voit alors, au moment de l'écoulement, la partie continue de la veine, et, de distance en distance, se distinguent des renflements qui sont le siége d'un mouvement vibratoire très prononcé ; on peut même remarquer une section contractée. Il y a donc ici la plus grande analogie avec les veines liquides, en prenant le cas où celles-ci s'écoulent dans un liquide de même nature. Cet état vibratoire des veines s'observe encore très bien dans les flammes, surtout celles des gaz enflammés, et il est facile de mettre en évidence, comme on l'a fait pour les veines liquides, les renflements régulièrement espacés des flammes, analogues à ceux qu'on observe à l'extrémité continue de la veine liquide. Leurs dimensions vont en diminuant à mesure qu'on arrive à l'extrémité, ce qui tient sans doute à ce que chaque partie enflammée brûle dans son trajet et finit par disparaître entièrement à une certaine époque.

Mais, comment expliquer, dans les gaz où il n'y a pas de force attractive comme dans les liquides, cette disposition particulière des veines, cet état de vibration dans la masse, et la formation de ces parties troubles qu'on observe dans le lycopode et mieux encore avec la vapeur d'eau. Il est actuellement impossible de donner une explication satisfaisante de ces phénomènes, qui paraissent dépendre de la disposition des filets fluides produits dans la masse au moment de l'écoulement.

Puisque les gaz s'écoulent comme les liquides, on doit pouvoir obtenir avec eux tous les effets que nous avons pu observer avec ceux-là. L'expérience prouve qu'il en est ainsi : en prenant une membrane tendue et dirigeant sur elle un jet de vapeur qui s'échappe d'une marmite de Papin, où on lui a fait acquérir une forte tension, on entend un son très intense. Il suffit même d'approcher l'oreille d'un pareil jet sortant librement, pour entendre le son qu'il détermine en frappant l'air. En projetant la vapeur obliquement sur le bord d'un gros tuyau, on le met en vibration comme un tuyau d'orgue. Si l'on fait arriver le jet de vapeur contre un disque suffisamment échauffé pour empêcher la condensation de la vapeur, celle-ci forme une nappe absolument semblable à celle que nous avons observée avec les liquides. On place, sur la marmite de Papin, un orifice rectangulaire allongé, vis-à-vis lequel se trouve l'arête d'un prisme carré dont à volonté on fait varier la distance à l'orifice. En projetant le jet de vapeur sur le prisme, il produit un son dont le degré d'acuité dépend, comme pour l'air, de la distance du biseau à l'orifice ; dans ce cas, comme on l'a remarqué pour les liquides, le jet gazeux se partage en deux parties animées d'un mouvement vibratoire. On obtient donc bien réellement, avec la vapeur, les mêmes phénomènes qu'avec l'eau ou l'air.

Depuis la mort de Savart, il n'a été publié aucun travail sur la *mécanique physique des fluides.*

A. Masson a entrepris, depuis quelque temps, la continuation des travaux de Savart, sur l'écoulement des fluides élastiques. En partant des idées précédemment émises par le professeur du collége de France, il est arrivé à des résultats qui paraissent devoir jeter un grand jour sur les propriétés des gaz et le mécanisme de la voix humaine. Voici les résultats de son travail encore inédit :

Soient des disques circulaires, très plans, à face parallèles, au centre desquels se trouvent des orifices circulaires à angles très vifs : ces disques sont placés sur une grande boîte qui reçoit le vent d'une soufflerie, et qui est munie d'un manomètre à eau très sensible, d'une construction particulière, destiné à indiquer la pression du gaz à sa sortie de l'orifice.

Lorsque les plaques ont des épaisseurs de 2 à 3 millimètres, et que les orifices de sortie du gaz ont un diamètre de 1 à 3 millimètres, on entend, lors de l'écoulement de l'air, des sons très purs et dont le degré d'acuité dépend de la vitesse d'écoulement. Si la pression croît d'une manière continue, le son monte progressivement comme dans une sirène, jusqu'à une certaine limite de pression dépendant de la grandeur de l'orifice. Les séries de sons qu'on obtient sont d'autant plus aiguës que les orifices sont plus petits. Les sons obtenus sont beaucoup plus faibles que ceux de la sirène, ce qui dépend évidemment de la faible masse d'air mise en mouvement.

Il est à remarquer en outre que les orifices des plaques, qui peuvent, quand elles sont libres, donner des sons, doivent être réglés d'après la force de la soufflerie, et qu'en réglant convenablement la masse d'air de cet appareil on pourrait avoir une échelle de sons très étendue. Avec une soufflerie ordinaire, employée dans les cabinets de physique, on ne peut obtenir des sons d'une plaque libre ayant une épaisseur de 2 à 3 millimètres, qu'avec des orifices de 4 à 5 millimètres de diamètre. Il est certain qu'avec des appareils plus puissants on aurait des sons plus intenses à l'aide d'orifices d'un plus grand diamètre.

Les sons restent les mêmes si l'on procède par aspiration, c'est-à-dire si l'on élève le soufflet de l'appareil et que l'air extérieur entre dans la boîte par l'orifice.

Le son reste parfaitement constant lorsque la pression elle-même est maintenue invariable, et les nombres de vibrations sont, comme pour les liquides, proportionnels à la vitesse d'écoulement du gaz ou à la racine carrée de la pression.

A. Masson a essayé de déterminer l'influence des diamètres et des épaisseurs des plaques. La difficulté d'obtenir des sons avec des orifices un peu larges ne lui a pas encore permis de vérifier la loi des diamètres trouvée pour les liquides. Cependant, d'après plusieurs expériences, ce physicien est porté à croire que le nombre des vibrations est, sous une même pression, indépendant des diamètres. Les sons produits par les plaques libres sont très faibles pour des orifices d'un petit diamètre de 1 à 3 millimètres, et imperceptibles pour des orifices plus grands. Il y a donc nécessité de les renforcer. Parmi les divers procédés, le plus simple consiste dans l'emploi de tuyaux différant de nature, de longueur et de diamètre.

Lorsque, sur une plaque, on dispose un tuyau cintré sur l'ouverture de cette plaque, le son est considérablement renforcé et le tuyau sonne comme celui d'un orgue, si le son de la plaque est un des harmoniques du tuyau. Il importe de faire remarquer qu'il y a réaction entre les vibrations de ce dernier et celles de l'air sortant de l'orifice de la plaque; car on peut, dans certaines limites, augmenter la pres-

sion de l'air sans changer le son du tuyau : cependant il y a une certaine force élastique pour laquelle le son est le plus renforcé possible. Si l'on détermine les pressions d'air correspondantes aux sons produits dans un tuyau, on trouve que plusieurs notes appartiennent à une même pression et qu'un même son peut être produit par plusieurs pressions. Quelquefois un même tuyau fait entendre plusieurs harmoniques coexistants.

Enfin, en prenant le son de la plaque libre et le son du tuyau vibrant sur cette plaque, on constate que ces deux sons ne sont pas toujours à l'unisson, mais dans des rapports simples. Ainsi, un son aigu de la plaque peut engendrer dans le tuyau des sons graves. Souvent, on entend distinctement le son du tuyau et celui de la plaque : les mêmes phénomènes se renouvellent quand on procède par aspiration. On obtient encore les mêmes résultats si la plaque est placée à l'ouverture supérieure du tuyau, de telle sorte que le tuyau serve de porte-vent. Enfin, pour une plaque donnée, il y a toujours une dimension de tuyau qui ne peut rendre qu'un seul son, même pour des pressions assez étendues. L'intensité du son augmente avec la pression, mais sa hauteur ne change pas véritablement. On comprend que le son du tuyau différant du son de la plaque, il est difficile quelquefois de déduire de ces sons et pour des orifices d'un grand diamètre, les véritables lois relatives au diamètre des orifices et à l'épaisseur des plaques. Il faut pouvoir être assuré que le son de la plaque libre est le même que celui du tuyau qui n'est plus alors qu'un simple appareil de renforcement.

Des expériences précédentes de Savart et de celles de Masson, on peut conclure que *l'air produit, dans son écoulement, les mêmes phénomènes que les liquides, qu'il obéit aux mêmes lois :* l'écoulement des gaz, par des orifices percés dans des plaques, est périodiquement variable, et cette périodicité dans la vitesse d'écoulement détermine, dans l'air extérieur, des vibrations sonores analogues, quoique moins intenses, à celles qu'y produit la sirène.

Tels sont, sur l'écoulement des liquides et des gaz, les résultats établis par ces deux physiciens. Il nous reste à faire connaître les applications de ces résultats à l'étude des *instruments à vent* et à celle de la voix.

1° *Orgues.*

La partie principale des orgues se compose de tuyaux de diverses formes et de nature différente. Les tuyaux simples à biseau, ou *tuyaux à bouche*, sont cylindriques ou rectangulaires, ouverts ou fermés par un bout. Ces derniers se nomment *bourdons ;* à la partie inférieure, et sur le côté, existe une ouverture rectangulaire appelée la *bouche.* La partie des parois située au-dessous de cette ouverture est aplatie et un peu rentrée en dedans : on la nomme *lèvre inférieure.* Elle forme un angle de 22 degrés à peu près avec l'axe du système. La partie opposée, ou *lèvre supérieure*, est située au-dessus de la bouche. Pour faire parler le tuyau, on adapte fixément à son origine un cône creux, le *pied*, qui est ouvert à sa pointe pour recevoir le vent d'une soufflerie, et fermé à sa base par une lame qui laisse seulement, près de la lèvre inférieure, un petit intervalle rectangulaire et parallèle à la lèvre, c'est la *lumière.* Le bord de la lèvre supérieure, placé en regard de cette lumière, est taillé à tranchant vif, et se

nomme le *biseau*. Il est très important que le biseau ne soit pas indéfiniment aminci comme le tranchant d'un couteau, et qu'il présente une extrémité ayant une surface sensible et bien plane. L'appareil étant disposé, on souffle de l'air dans le pied du tuyau ; l'air s'échappe par la lumière en formant une lame mince qui vient se briser contre le biseau, et il est partagé par ce dernier en deux nappes, l'une intérieure et l'autre extérieure. Celles-ci exécutent le même nombre de vibrations que l'air à sa sortie de la lumière, et produisent, par conséquent, un son qui, pour la nappe intérieure, est renforcé par le tuyau. Il résulte des expériences de A. Masson que le son produit par l'air s'échappant de la lumière, ou par les battements des nappes contre l'air extérieur ou intérieur du tuyau, peut être différent, mais un des harmoniques des sons rendus par le tuyau. Il est utile de faire observer que, par suite des réactions exercées par les vibrations de l'air dans le tuyau sur celles de l'air sortant de l'orifice, ces deux systèmes se mettent d'accord en vibrant simultanément, quoique isolément leurs sons ne soient pas dans des rapports simples. Seulement il faut qu'ils en diffèrent peu.

Le son, dans les tuyaux d'orgue, est donc bien formé à l'orifice, car on produit des sons bien caractérisés en prenant un biseau libre placé contre la lumière d'une embouchure ordinaire d'orgues ; le tuyau sert seulement à renforcer le son. Dans ce dernier cas, la distance du biseau à l'orifice, la vitesse d'écoulement de l'air, la largeur de la lumière, ont une grande influence sur l'intensité et le degré d'élévation du son. Le son est d'autant plus aigu que le biseau est plus près de l'orifice et que la lumière est plus petite, ou que la vitesse de l'air est plus grande, les autres éléments restant les mêmes.

En variant d'une manière convenable les éléments précédents, on fait rendre à un tuyau divers sons. Il arrive souvent qu'en augmentant la vitesse du courant, on obtient d'un même tuyau une série d'harmoniques. Mais il y a toujours, pour un tuyau donné, une disposition de lumière et de biseau qui, pour des vitesses d'écoulement comprises entre des limites assez étendues, ne feront produire au tuyau qu'un seul son. Tous ces faits trouvent leur explication dans les expériences déjà citées.

Les liquides se comportant absolument comme les gaz, on peut les faire entrer en vibration de la même manière, comme l'a si bien établi Savart. Aussi, afin de déterminer la vitesse du son dans les liquides, Wertheim (1) a-t-il employé des tuyaux d'orgue, à bouche, pleins d'eau, qu'il a mis en vibration de la même manière que les tuyaux ordinaires pleins de gaz.

Causes qui modifient le son dans les tuyaux. — Les lois de D. Bernouilli, que nous avons fait connaître plus haut, ne s'appliquent qu'à des tuyaux très longs relativement à leurs dimensions transversales. Quand celles-ci augmentent et que le tuyau change de forme et de nature, le sons produits par des tuyaux de même longueur, mais de diamètres différents, sont profondément modifiés. Nous supposerons d'abord des tuyaux assez épais pour que leur nature n'ait aucune influence sur le son du gaz qu'ils renferment.

Dans les *tuyaux cylindriques*, les sons fondamentaux, pour des longueurs égales, ont d'autant plus de gravité que le tuyau est plus large.

Savart a reconnu que, dans les *tuyaux prismatiques*, les nombres de vibrations

(1) *Ann. de phys. et de chimie*, 3e série, t. XXIII, p. 434.

l'indiquer, c'est que la résistance de l'air n'a aucune influence sensible sur la forme et la dimension de la veine, non plus que sur le nombre des pulsations, comme on s'en est assuré en laissant tomber le jet dans un grand tube vide d'air.

L'amplitude des vibrations peut être considérablement augmentée par des vibrations de même période communiquées à la masse entière du liquide et aux parois du réservoir qui le contient. Cela a été constaté en faisant produire à des violons ou des basses des sons à l'unisson de ceux du liquide. A une distance très grande, la constitution de la veine est subitement changée sous l'influence de ces différents sons qui agissaient sur la masse entière du liquide et non sur la veine elle-même, puisque le phénomène se passait de la même manière quand la veine était dans le vide.

Ce qui démontre ce fait important, que la période des oscillations ne dépend point des dimensions de la veine, et que cette période est réglée par les circonstances mêmes du passage du liquide à l'orifice, c'est que les modifications imprimées à la veine par les ondes sonores dépendent uniquement de l'action qu'elles exercent sur les parois du vase, et qu'elles sont bien plus marquées quand le corps sonore, qui peut être un timbre, un diapason ou un violon, est directement en contact avec le réservoir.

Sous l'influence des ondes sonores, la longueur de la partie limpide et continue du jet peut se réduire presque à rien ; tandis que les ventres de la partie trouble acquièrent une régularité de forme et une transparence qu'ils ne possèdent pas ordinairement. Lorsque le nombre de pulsations qui a lieu à l'orifice est différent du nombre de vibrations communiquées, il peut être altéré, mais seulement dans certaines limites; ce qui établit un nouveau fait de la réaction des corps en vibration et vient confirmer la généralité des principes admis à ce sujet. On peut même obtenir des battements produits par la réaction des ondes d'une corde, d'un diapason, et les oscillations de la veine qu'on voit remonter à chaque battement.

Les phénomènes qui viennent d'être énoncés restant les mêmes lorsqu'on a soustrait le réservoir à l'action de toute espèce d'onde sonore, et ne dépendant ni de la nature du liquide, ni de sa température, et le nombre des pulsations étant déterminé uniquement par la vitesse de l'écoulement et le diamètre des orifices, on a été conduit à penser que la pesanteur était la seule cause des phénomènes, et que ceux-ci étaient dus à de très petites oscillations de la masse entière du fluide, dont la partie centrale s'abaisse tandis que la partie la plus extérieure est animée d'un mouvement en sens contraire. Dans cette supposition, toutes les tranches horizontales du fluide seraient le siége d'un mouvement analogue à celui d'un disque libre sur son contour, et qui exécute des vibrations normales en se divisant en deux parties vibrantes séparées par une seule ligne nodale circulaire.

L'ensemble des circonstances qui accompagnent ce mouvement oscillatoire fait présumer qu'il est produit de la manière suivante : Au moment où l'on ouvre l'orifice, les filets fluides se précipitent en vertu de la pesanteur, et, comme ils ne peuvent pas tous passer en même temps, ils se pressent à l'orifice, y forment une espèce de ventre qui éclate tout à coup en lançant périodiquement du fluide au dehors. Il y aurait ainsi des maxima et des minima de vitesse dans l'écoulement du liquide.

L'expérience suivante prouve encore que c'est à l'orifice qu'a lieu le mouvement vibratoire : une basse est mise en communication avec le réservoir ; la veine se *raccourcit* comme si l'on produisait un son ayant le même nombre de vibrations *qu'elle-même.*

La constitution des veines lancées horizontalement ou même obliquement par des orifices circulaires de bas en haut, ne diffère pas essentiellement de celle des veines lancées verticalement de haut en bas; seulement le nombre des pulsations paraît devenir d'autant moindre, que le jet approche plus d'être lancé verticalement de bas en haut. Quelle que soit la direction de la veine, son diamètre décroît toujours très rapidement jusqu'à une petite distance de l'orifice.

Mais, quand la veine tombe verticalement, le décroissement continue jusqu'à ce que la partie limpide se perde dans la partie trouble. Il en est encore de même quand la veine est lancée horizontalement, quoique alors le décroissement suive une loi moins rapide. Lorsque le jet se fait obliquement de bas en haut et qu'il forme avec l'horizon un angle de 25 à 45 degrés, toutes les sections normales à la courbe qu'il décrit, deviennent sensiblement égales entre elles à partir de la section contractée qui touche à l'orifice. Enfin, pour des angles plus grands que 45 degrés, le diamètre de la veine va en augmentant depuis la partie contractée jusqu'à la naissance de la partie trouble; de sorte que c'est seulement alors qu'il existe une section qu'on peut à juste titre appeler *section contractée*.

Entre 25 et 45 degrés la veine présente une particularité remarquable : les gouttes dont est composée la partie trouble ne décrivent pas toutes une courbe unique, mais elles forment une sorte de gerbe dont la discontinuité est partout manifeste, et qui est composée de gouttes qui décrivent des courbes paraboliques contenues dans un même plan vertical. Cet éparpillement de gouttes dans un même plan vertical paraît dépendre de ce que la partie continue de la veine est le siége d'un mouvement irrégulier de vibration déterminé par la vitesse périodiquement variable de l'écoulement, et sans doute aussi par le mode de séparation des gouttes elles-mêmes, qui alors ne s'opérerait pas d'une manière aussi régulière que quand le jet tombe verticalement.

Les mouvements vibratoires extérieurs ont encore une grande influence sur la régularité de la veine. Quelle que soit la forme de l'orifice, la constitution de la veine est toujours la même ou au moins analogue.

L'influence des ondes sonores sur la veine peut donner naissance à un phénomène dynamique très remarquable : On prend un réservoir duquel le liquide s'écoule sous une pression constante, on reçoit le jet sur la petite branche d'un siphon dont la grande branche verticale, comme la petite, s'élève au-dessus du niveau du réservoir ; le liquide provenant de la veine remplit le siphon, et le niveau s'élève dans le tube au niveau de l'eau dans le réservoir. Si, dans ce moment, on produit près de la masse liquide un son dont le nombre de vibrations soit le même que celui de la colonne liquide, ce liquide descend brusquement dans la grande branche du siphon pour remonter ensuite aussitôt que le son cesse.

Après avoir examiné la constitution de la veine fluide et le mouvement vibratoire dont cette veine est le siége, il était important de rechercher si, en lui faisant subir des altérations dans sa forme et dans sa nature, cet état vibratoire se conservait.

Si l'on reçoit la veine fluide sur un disque circulaire plan et horizontal, ou sur le sommet d'un cône, on trouve que les modifications qu'elle subit après le choc dépendent du diamètre de l'orifice et de celui du disque; qu'elles varient, avec la vitesse d'écoulement du liquide, sa nature et sa température. Il est facile d'acquérir une idée nette de ces modifications au moyen d'un appareil composé d'un tube de verre d'environ 1 décimètre de diamètre et de 2 mètres de hauteur, dont l'extré-

faisait agir la soufflerie, on obtenait des sons d'une prodigieuse intensité et d'un grand effet. Il est bien évident ici que ces derniers sons provenaient des chocs successifs imprimés à l'air extérieur par le courant de gaz intérieur. Les sons étaient identiques dans les deux cas. Ainsi la périodicité dans l'écoulement était produite et réglée par les oscillations de la corde.

2° Dans les appareils formés de tuyaux mis en vibration par des anches, le problème est plus complexe. La théorie des anches, adoptée pour ce cas spécial, a été exposée par J. Müller (1) dans les termes suivants :

« La manière dont la languette est mise en vibration ne me paraît pas avoir été jusqu'à présent expliquée d'une manière satisfaisante. Voilà, selon moi, ce qui arrive. Lorsqu'on souffle, la languette est chassée hors de l'ouverture du châssis; en vertu de la loi de l'inertie, elle fuit devant le corps qui la pousse, jusqu'à ce que son élasticité, qui croît proportionnellement à sa flexion, fasse équilibre à sa vitesse. Comme la pression de l'air continue toujours, la languette demeurerait dans cette situation si l'on continuait de souffler; mais, une fois qu'elle a été écartée, la pression est bien moindre que quand elle se trouvait encore engagée dans le châssis, de sorte que son élasticité la force à revenir sur elle-même comme un pendule, et que même, par l'effet soutenu de cette élasticité, elle rétrograderait avec une vitesse accélérée, si la pression continue de l'air ne la retardait un peu. Dès qu'elle est parvenue dans le châssis, la pression de l'air, devenue plus forte, la repousse de nouveau. Si cette pression ne variait pas, elle maintiendrait la languette dans la même situation, celle que comporterait sa résistance. »

La théorie des anches comprend deux parties bien distinctes. Dans la première, on doit donner l'explication du mouvement vibratoire de la languette ; dans la seconde, expliquer l'origine des vibrations sonores. J. Müller (2), dans le passage précédent, a exposé ses idées seulement sur la première partie. Nous trouverons, plus loin, son opinion sur le second point qui est le plus important. Du reste, la théorie de ce physiologiste, sur les vibrations des anches, n'est pas, comme il le croit, une théorie nouvelle : elle se trouve déjà dans plusieurs ouvrages justement estimés (3).

A propos des explications émises plus haut par l'auteur allemand, nous ferons les remarques suivantes :

Les languettes, obéissant au mouvement et à la pression périodiques de l'air, ne peuvent plus exécuter le même nombre de vibrations qu'à l'état de liberté ou dans les conditions signalées précédemment. L'air est le principal agent des mouvements de la languette qui, pour nous servir d'une comparaison propre à rendre notre pensée, est soumise à une action purement mécanique, analogue à celle que produirait une roue dentée. Les vibrations de l'anche ne sont donc point dues à sa seule élasticité; elles *sont déterminées par la sortie périodique de l'air*, et le phénomène rentre dans la classe des phénomènes nombreux qui dépendent des propriétés mécaniques des fluides et de leur écoulement.

Le problème est plus difficile à résoudre et plus compliqué qu'on ne l'avait cru jusqu'ici ; toutefois, les faits qui seront rapportés plus loin viendront à l'appui de cette dernière opinion qui n'est pas non plus nouvelle. Ainsi, dans le *Traité de*

(1) *Manuel de physiol.*, trad. de JOURDAN avec additions de LITTRÉ, t. II, p. 137.
(2) *Loc. cit.*
(3) Voy. SAVART, *Leçons d'acoustique* dans le Journal l'Institut, n° 370, p. 195.

physique de Biot (1), on lit : « Il importe de faire remarquer que ce n'est pas la languette qui, par ses *vibrations propres*, ferme et ouvre tour à tour la rigole; c'est l'air qui l'y pousse et qui la ramène. Le son dépend de ces chocs et de ces retours plus ou moins rapides. Si le point d'attache est fixe ainsi que la longueur de la languette, l'air aura besoin d'une force d'autant plus grande pour l'amener contre la rigole qu'elle en sera plus éloignée. Ainsi l'augmentation de cet éloignement devra rendre les battements plus rares, et par conséquent, plus grave le son qui en résulte, c'est ce qu'on observe constamment : au contraire, on rendra le son plus aigu, si l'on raccourcit la partie libre de la languette, toutes les autres choses restant les mêmes, parce que son extrémité aura moins de chemin à faire pour s'approcher de la rigole et moins à faire aussi pour s'en éloigner. »

Un élément important dans cette question, et qui paraît avoir été négligé jusqu'à présent, c'est la grandeur de l'orifice qui donne écoulement à l'air.

De tout ceci il résulte que la théorie des anches est encore incomplète.

L'anche, dans les tuyaux, ne vibre pas comme si elle était libre, son mouvement est déterminé par l'écoulement de l'air, et elle est passive.

Le son, dans les instruments à anche, nous paraît dû à ce que le mouvement de l'air qui s'écoule par la gouttière, étant animé de vitesse périodiquement variable, imprime à l'air extérieur des chocs périodiques dont le nombre, déterminant le son, peut varier avec la périodicité de l'écoulement qui dépend de la grandeur de l'orifice, de l'élasticité de la lame, de la pression de l'air, etc. Les vibrations de la languette vibrant librement peuvent bien n'être pas d'accord avec celles du tuyau, d'après les expériences de M. A. Masson, et produisent un son très faible qui modifie quelquefois celui du tuyau et en change le timbre; mais il ne saurait être le son principal et intense des instruments à anche. Quand l'anche est battante, les battements de la languette contre la gouttière donnent un son qui, s'ajoutant au premier, en produit un autre d'un timbre particulier et nasillard.

« Il résulte, dit Lamé (2), de ces oscillations périodiques de la languette, des chocs successifs de *l'air contre l'air*, et par suite un son comme dans la sirène. »

J. Müller est complétement opposé à la théorie précédente, et, en la combattant, il cite néanmoins plusieurs faits qui lui sont favorables : « Le son d'une languette, dit-il (3), mise en vibration par percussion est faible; celui d'une languette qui vibre par l'effet du souffle est fort; mais il y a aussi une différence dans la qualité des sons, dont le timbre ne ressemble pas, dans le premier cas, à ce qu'il est dans le second. On conclut de là que l'air, bien qu'il ne modifie pas l'élévation du son en raison de la largeur diverse de l'ouverture, doit cependant exercer sur lui de l'influence, en ce sens que, dans les conditions au milieu desquelles la languette vibre par l'effet du souffle, il éprouve des chocs réguliers sans former des nœuds. On sait qu'il ne faut pour la production d'un son qu'un certain nombre de chocs qui soient propagés à l'organe auditif, et que les vibrations ne donnent lieu à des sons que parce qu'elles déterminent des chocs de ce genre. D'après la manière dont une languette vibre dans son châssis, il doit, assure-t-on, se produire des chocs semblables à ceux qui ont lieu dans la sirène, le passage de l'air se trouvant arrêté au moment de chaque vibration. De même, dans la sirène, les interruptions du

(1) T. I, p. 438. Paris, 1821.
(2) *Ouv. cit.*, t. II, 94.
(3) *Ouv. cit.*, t. II, p. 138.

courant de l'air, en se succédant avec rapidité, font naître un son. L'élévation de ce son de l'air dépend du nombre des interruptions, et comme celles-ci sont dues aux vibrations de la languette, ce nombre doit être égal à celui des vibrations..... Mais cette théorie des sons produit par les languettes n'est rien moins que démontrée. »

Tel est le sentiment du professeur de Berlin, qui a publié sur les vibrations des anches des expériences nombreuses et une explication de la voix qui repose entièrement sur sa théorie des anches. Ses idées, à ce sujet, étant généralement adoptées, il importera de les examiner avec quelques détails. Plus loin, après avoir fait connaître ses expériences, nous verrons si, détruisant l'opinion que nous soutenons, elles peuvent servir à établir incontestablement la sienne.

Dans les instruments à anche, le tuyau à anche ou tuyau porte-vent, les dimensions de l'anche, et le tuyau supérieur ou additionnel, ont une très grande influence sur le son produit.

Lorsqu'on fait vibrer une anche libre, puis un tuyau, on constate que les sons des deux appareils peuvent être très différents du son produit par le système obtenu en ajustant l'anche sur le tuyau. Ce dernier son est susceptible d'être modifié par la distance de l'anche à la gouttière, par la pression de l'air, par la nature des parois du tuyau qu'on peut rendre en tout ou en partie membraneuses. On suppose, dans ce cas, qu'il y a une réaction entre les vibrations de la languette et celles du tuyau, et que par suite de cette réaction les deux systèmes vibrent à l'unisson. La simultanéité des vibrations de l'anche et de l'air du porte-vent serait une conséquence de ce principe, que, dans les systèmes de corps en vibration, toutes les parties vibrent à l'unisson; mais dans le cas particulier des anches, cette simultanéité serait nécessitée par l'écoulement de l'air qui règle *seul* le mouvement de la lame. Il pourrait bien arriver, conformément aux expériences de A. Masson, que le son produit à l'orifice de la gouttière par l'écoulement de l'air fût différent de celui du tuyau. Dans tous les cas, il est impossible d'admettre que c'est la vibration de la languette qui règle uniquement le son; car, sans rien changer à cette lame, mais en forçant le vent, en changeant les dimensions et la nature du porte-vent, en augmentant l'ouverture d'émission de l'air, on parvient à obtenir des séries de sons comprises entre des limites très éloignées, ce qui exclut la possibilité d'une simultanéité de vibrations uniquement déterminée par la réaction des parties vibrantes.

G. Weber a fait beaucoup d'expériences sur les tuyaux à anche; nous en rappellerons les conséquences qui importent le plus au but que nous nous proposons (1) :

« 1° L'union d'un tuyau avec une anche peut rendre le son de cette dernière plus grave, mais ne saurait le rendre plus aigu.

» 2° Le maximum de cet abaissement ne dépasse point une octave.

» 3° En allongeant le tuyau, le son revient au son fondamental primitif de l'anche, qu'on peut ensuite abaisser de nouveau; mais seulement jusqu'à un certain degré.

» 4° La longueur du tuyau nécessaire pour obtenir un abaissement donné dépend toujours du rapport entre les nombres des vibrations de la languette et de la colonne d'air, prises chacune à part.

(1) *Manuel de physiol.* de J. Muller, t. II, p. 130, édit. cit.

» 5° Ainsi le son du tuyau à anche s'abaisse peu à peu à mesure qu'on allonge le tube, jusqu'à ce que la colonne d'air de celui-ci soit devenue assez longue pour donner seule le même son que l'anche donne également seule. En allongeant davantage le tube, le son revient au son fondamental de l'anche. On peut encore, en allongeant le tube, le faire descendre d'une quarte environ, jusqu'à ce que la longueur du tuyau soit double de celle de la colonne d'air qui aurait le même son que l'anche. Là le son repasse de nouveau au son fondamental de l'anche. L'allongement du tube peut abaisser le son d'une tierce jusqu'à ce qu'un moment vienne où il passe au son fondamental de la languette. Pendant la transition, on peut produire deux sons différents, suivant la force avec laquelle on souffle.

» 6° Si le son de l'anche parlant seule est un des harmoniques du tuyau, l'union de l'anche avec le tuyau ne fait pas nécessairement changer le son de la première quand on souffle doucement ; mais lorsqu'on souffle avec force, le son peut être abaissé au-dessous de celui de l'anche, ou d'une octave, ou d'une tierce mineure, ou d'une quarte ou d'autres intervalles correspondants aux nombres 7/8, 9/10, 11/12. »

Les expériences de G. Weber n'ont rien qui ne soit d'accord avec ce que nous avons avancé précédemment sur la production du son par les anches. Elles se résument en quelques mots : soient a la longueur du tube ouvert qui produirait le même son que l'anche seule $(4ai+l)$, la longueur du porte-vent, i étant un nombre entier et l la partie ajoutée au delà d'un multiple de $4a$. Lorsque l varie de o à a, le tuyau à anche donne le même son que l'embouchure seule ; si elle croît de a à $2a$ le son baisse sensiblement de $l=2a$ à $l=3a$, le ton de l'anche diffère promptement de celui de la plaque, et la longueur des vibrations croît à peu près comme la longueur du tuyau. Ainsi, dans ce cas, le tuyau vibre et donne un son qui n'est pas exactement celui que donnerait la théorie, à cause de l'influence de l'embouchure dont il faut tenir compte. De $l=3a$ à $l=4a$, le ton baisse encore plus rapidement et atteint une limite qui dépend de i. Dans ce décroissement, la durée des vibrations croît exactement comme la longueur du tuyau. Lorsque l surpasse un peu $4a$, le son remonte tout à coup à celui de la plaque, et la même série recommence à l'exception de la limite inférieure du son qui diffère de la précédente. Ainsi, pour $i=o$ et l croissant de a à $4a$, le son s'abaissera et donnera pour $4a$ une octave grave du son de la plaque ; pour $i=1$, et par conséquent pour un tuyau croissant de $4a$ à $8a$, le son s'abaissera successivement, et à $8a$ il sera d'une quarte plus bas que le son de la plaque. Enfin, pour un tuyau variant de $8a$ à $12a$, le son s'abaissera, et à $12a$ il sera d'une tierce mineure plus bas que le son de la plaque.

Ainsi, on voit que pour $4a$ on aura ut_2 ou $\frac{4a}{2}$, c'est-à-dire l'octave aiguë du tuyau ayant pour longueur $4a$; pour $8a$ on aura le son correspondant à $\frac{4a}{3}$, c'est-à-dire le sixième harmonique du tuyau, dont la longueur est $8a$, car $\frac{4a}{3}=\frac{8a}{6}$. Enfin, pour $12a$ on aura le son correspondant à $\frac{6a}{5}$, qui est égal au dixième harmonique du tuyau $12a$, c'est-à-dire égal à $\frac{12a}{10}$.

Les résultats de G. Weber confirment pleinement tout ce que nous avons dit sur les vibrations des tuyaux et les instruments à anche.

Savart (1), de son côté, a avancé que la colonne d'air du tuyau porte-vent vibre toujours comme un tuyau ouvert, et que le son grave ou aigu qu'on obtient est toujours un harmonique de cette colonne ; qu'il y a, en outre, réaction entre l'air et la languette dont le son s'abaisse à l'unisson de celui de la colonne qui a l'intensité la plus grande.

A. Masson pense que cette dernière proposition de Savart n'est pas démontrée, et que le son de l'anche est, dans beaucoup de cas, différent de celui du tuyau sans cesser d'être un de ses harmoniques.

b. — *Anches membraneuses.* — Dans l'étude des anches membraneuses, nous nous baserons principalement sur les travaux de J. Müller, en rappelant toutefois que Biot avait depuis longtemps employé ces espèces d'anches, et que Cagniard-Latour avait publié sur ce sujet une série non interrompue de mémoires qui se trouvent dans les bulletins de la Société philomatique (2). Malgré les recherches de ces habiles physiciens, J. Müller pense que, jusqu'à ses propres expériences sur les anches membraneuses, on n'était point autorisé à établir un parallèle complet entre ces instruments et l'organe vocal. Les travaux du physiologiste allemand, sur ce point de la science, jouissent d'une si grande considération, que nous regardons comme un devoir de les exposer avec quelque développement, nous réservant de les discuter plus loin et d'en juger les conséquences dans leur application à la théorie de la voix.

Avant d'entrer en matière, qu'il nous soit permis de rappeler avec Savart : 1° que les lames métalliques, fixées par un bout, obéissent dans leurs vibrations aux lois qui déjà ont été exposées à propos des vibrations transversales des verges ; 2° que les bandes flexibles, métalliques ou membraneuses, très minces, vibrent comme les cordes, lorsqu'elles sont fixées à leurs deux extrémités ; 3° que les membranes, tendues et fixées par leurs bords, vibrent d'après les lois citées pour les plaques.

Anches membraneuses simples sans tuyau. — « Les anches simples de cette espèce, dit J. Muller (3), correspondent à la guimbarde et à l'harmonica à bouche simple. Après avoir étendu une plaque de caoutchouc en membrane mince, j'en détache une étroite lanière ayant une ou deux lignes de large, et je tends cette lanière, en travers, sur un anneau de bois ou sur un cadre carré. Étant alors pincée à la manière d'une corde, elle donne un son faible et sourd, mais aussi mauvais que celui qu'une languette métallique produit par percussion. Si, de chaque côté du fil élastique plat, on fixe sur l'anneau une plaque rigide de carton ou de bois, de manière que les deux plaques soient affleurées avec le fil, entre lequel et elles il ne reste qu'une fente étroite, on obtient un harmonica à bouche, dont la languette est de caoutchouc. Cet instrument donne alors, comme l'harmonica à bouche, un son pur, fort et plein. Mais on peut aussi, sans entourer cette languette d'un cadre, et sans que l'air passe sur ses côtés par des fentes, obtenir d'elles des sons pleins, d'une autre manière et en vertu du même principe. J'ai déjà dit, en parlant des languettes métalliques, que celle d'un harmonica à bouche débarrassée de son

(1) Dans le journal *l'Institut*, n° 336, p. 196.
(2) *Même journal*, année 1836 et suiv.
(3) *Manuel de physiol.*, trad. de Jourdan, édit. cit., t. II, p. 112 et suiv.

châssis, et fixée par l'un de ses bouts, peut, pourvu qu'elle soit très longue, être mise en état de vibration sonore par un courant d'air rapide et délié qu'à l'aide d'un tube très mince on dirige sur l'un des bords latéraux, immédiatement au-dessus de l'extrémité. Cependant on a de la peine à y parvenir avec les languettes métalliques, parce qu'elles sont trop roides. On réussit très bien avec des lanières de caoutchouc dont je viens de parler. Qu'on tende un ruban étroit de gomme élastique sur un cadre de huit lignes à un pouce de diamètre; qu'ensuite à l'aide d'un tube délié, on souffle sur l'un de ses bords dans une direction perpendiculaire à sa surface, il vibre d'un côté à l'autre, en faisant entendre un son. Ou, ce qui vaut mieux encore, qu'on souffle obliquement de côté sur la surface du ruban, il se produit aussitôt des vibrations de haut en bas, avec un son fort et pur, ayant la même résonnance que celui qu'on obtient lorsque, le ruban étant tendu entre deux jambages solides, on souffle à travers la fente. Ce son naît évidemment de la même manière que dans les languettes métalliques. Quand un courant d'air délié vient frapper le ruban, celui-ci s'éloigne du corps qui le choque; mais, comme son élasticité croît à mesure qu'il s'étend, un moment arrive où cette élasticité fait équilibre à sa vitesse, et alors le ruban exécute la vibration rétrograde, qui le ramène assez près du courant pour qu'il doive être repoussé de nouveau. Que le courant d'air tombe obliquement sur le milieu du ruban, ou qu'il passe entre le milieu et les points terminaux, le son fondamental de ce ruban doit se produire dans les deux cas : quelquefois, lorsque le courant s'écarte davantage du milieu, il apparaît un autre son que le son fondamental. Mais le son dépend aussi, en quelque sorte, de la force avec laquelle on souffle. Si l'on applique le tranchant d'une spatule sur le milieu du ruban, dans une direction perpendiculaire à sa surface, de manière qu'il repose à la fois sur deux points, et qu'ensuite on souffle sur la moitié du ruban, on obtient l'octave du son fondamental. Une tension plus considérable élève le son, qui n'en demeure pas moins pur et plein. Quant à la force du souffle, elle peut hausser le son fondamental du ruban d'un demi-ton et plus. En général, cependant, ces languettes élastiques par tension changent leurs vibrations absolument de la même manière que les cordes, c'est-à-dire que les nombres des vibrations croissent en raison inverse des longueurs, et probablement par cela même, en raison directe des racines carrées des forces tensives. C'est déjà là une différence importante entre elles et les languettes métalliques, qui se comportent comme les verges, puisque, à égalité d'épaisseur, les nombres de vibrations sont en raison inverse des carrés de leurs longueurs. Les languettes membraneuses ne diffèrent des cordes que parce que le mode d'embouchure modifie un peu le son, quoique la languette continue de vibrer en plein, ou de toute sa longueur, comme une corde. Lorsqu'après avoir tendu sur un tuyau une languette membraneuse embrassée par un cadre, on souffle par le tuyau, un son se produit, soit qu'on pousse l'air, soit qu'on l'attire; mais, à égalité aussi parfaite que possible d'embouchure, ce son varie dans les deux cas: dans le second, il est la plupart du temps plus grave d'un semi-ton entier. La largeur de la fente, entre les branches et la languette élastique, n'a pas d'influence bien notable sur l'élévation du son; mais le souffle parle plus facilement lorsque cette fente est plus étroite. La force du souffle peut élever un peu le son, par exemple d'un semi-ton; celle de l'aspiration de l'air peut également l'élever un peu. Si la languette heurte, en un point quelconque, une inégalité du rebord des branches latérales qui l'embrassent, il se produit là un nœud de vibration, et l'on entend un son beaucoup plus élevé que le son fondamental. »

Tous les faits et toutes les assertions qui précèdent sont loin de s'accorder avec cette idée, que le son est produit uniquement par l'anche. Il est impossible, en effet, d'admettre que le son d'une lame ou d'une corde change avec le moyen mécanique employé pour son ébranlement. On peut admettre, dans certains cas, une réaction entre les différentes parties d'un système; mais cette réaction ne saurait exister dans des limites aussi étendues que celles qui viennent d'être mentionnées, ni avoir lieu dans le cas simple d'une anche libre et sans tuyau où aucune partie *vibrante* ne peut réagir sur les vibrations de la lame.

Mais poursuivons notre examen critique :

Les languettes métalliques, dont la force élastique est très grande, entrent difficilement en vibration, lorsqu'étant libres, on souffle dessus par un tuyau mince et parallèlement à leur surface; il est nécessaire, pour avoir un son, de les mettre en vibration par un moyen mécanique. Dans ce cas, nous avons déjà prouvé que le son produit est très faible, et qu'il augmente par l'insufflation.

On a fréquemment cité la guimbarde comme un instrument à anche, capable de produire un très grand nombre de sons sans changer de forme; et J. Müller revient souvent à cet instrument dont la théorie est mal connue, et qui mérite une étude spéciale. Tout ce qu'on sait, jusqu'à présent, sur la guimbarde consiste en ceci : Placée à l'extrémité d'un tuyau quelconque, elle rend un son à peu près nul quand on ne souffle pas; mais, lorsqu'on établit un courant d'air dans le tuyau pendant qu'elle vibre, le son augmente tout en restant le même, quelle que soit la grandeur du tuyau. Il faut bien admettre alors que le son est produit par la sortie de l'air, rendue périodique par les vibrations de la languette. Mise dans la bouche, la guimbarde paraît faire entendre plusieurs sons. Jusqu'à présent, on n'a donné aucune théorie satisfaisante de ce phénomène : nous pensons que la guimbarde produit un seul son modifié, dans son timbre et son intensité, par les dimensions de la cavité buccale; d'où des illusions qui ont conduit à supposer que le nombre des vibrations de cet instrument pouvait varier.

Lorsqu'on tend une lanière membraneuse (papier, caoutchouc, etc.), et que, parallèlement à la face et contre le bord, on dirige un courant d'air large et mince, la lame entre en vibration et rend des sons assez intenses. C'est le seul cas où une anche libre puisse donner des sons intenses. On n'arrive pas au même résultat en soufflant normalement à la lame ou à son bord. Le phénomène dont il s'agit mériterait d'être étudié spécialement, et J. Müller lui-même ne l'a pas envisagé dans toutes ses particularités. Quand on souffle sur une lame de papier, on reconnaît que le son change avec la distance de la lame à la bouche, que l'ouverture de la bouche et la pression de l'air doivent être changées avec les dimensions et les tensions de la lame. Par conséquent, tout semble prouver que la lame doit vibrer à l'unisson de l'air qui sort par l'orifice; que cet air se partage, lorsqu'il frappe la lame, en deux parties vibrantes, qui mettent en mouvement l'air extérieur comme les embouchures solides, et que le son produit est seulement renforcé par les vibrations de la lame élastique, agissant, dans ce cas, comme une simple membrane dont les amplitudes de vibrations sont très énergiques. Cette action est analogue à celle des membranes que Savart employait pour mettre en évidence les sons des nappes liquides.

Peut-on dire, avec J. Müller (1) : « Quand un courant d'air délié vient frapper

(1) *Loc. cit.*

le ruban, celui-ci s'éloigne du corps qui le choque ; mais comme son élasticité croît à mesure qu'il s'étend, un moment arrive où cette élasticité fait équilibre à sa vitesse, et alors le ruban exécute la vibration rétrograde qui le ramène assez près du courant pour qu'il doive être repoussé de nouveau. »

D'après cette explication, on devrait admettre que la sortie de l'air est rendue périodique par les oscillations de la lame, et conséquemment que les vibrations de celle-ci sont à la fois cause et effet : car la lame ne peut osciller que quand l'air est arrivé à une tension suffisante, et alors ses vibrations sont un effet de la sortie de l'air ; la lame vient fermer périodiquement l'ouverture, alors elle devient cause. Nous retrouvons ici les mêmes phénomènes que dans les anches ordinaires, et nous n'hésitons pas à maintenir notre première explication.

Voyons les conséquences : On prend un tube aminci, terminé par un orifice rectangulaire de quelques centimètres ; on place devant la fente et parallèlement à l'orifice une mince bande de papier tendue, et l'on souffle ; un son très intense se fait entendre. Comment croire ici que l'air mette, par son écoulement simple, la lame en vibration ? Tout est parfaitement symétrique de chaque côté du plan de la lame, le courant d'air se partage en deux. N'est-il pas évident que, dans ce cas comme dans les tuyaux à bouche, la sortie de l'air est périodiquement variable ; que les deux lames résultant de la présence du biseau oscillent et frappent l'air, et en même temps la membrane dont les oscillations énergiques renforcent le son ? On s'explique alors pourquoi il faut changer la grandeur de l'orifice et la pression de l'air pour une lame donnée. Dans ce cas, le son sera le plus intense possible lorsque les vibrations de l'air seront à l'unisson de celles de la membrane. On conçoit pourquoi le son peut monter, comme l'a reconnu J. Müller, qui, sans s'expliquer à cet égard, se contente de dire que les anches membraneuses diffèrent des cordes parce que le mode d'embouchure modifie le son. On comprend encore pourquoi le son change si l'on écarte la membrane à plusieurs centimètres de l'ouverture. Savart a démontré, en effet, que, dans les nappes liquides, le son était d'autant plus grave qu'on s'écartait davantage de l'orifice.

Ainsi, dans le cas des anches membraneuses, le son est encore *produit* par l'écoulement périodique de l'air, et renforcé quelquefois par les vibrations de la lame.

Anche membraneuse tendue dans une fente rectangulaire. — Les phénomènes et l'explication des sons produits dans ce cas sont les mêmes que pour les anches métalliques.

« Les anches membraneuses, élastiques par tension, dit J. Müller (1), peuvent être réalisées sous des formes plus variées que celles qui ont été indiquées jusqu'ici.

» Je n'ai encore parlé que du cas d'un ruban élastique tendu, à la manière d'une corde, entre deux branches rigides, ce qui fait qu'il existe une fente sur chacun de ses deux bords. Deux autres formes encore sont possibles :

» 1° Une membrane élastique couvre une moitié ou une partie quelconque du bout d'un tuyau très court, et la portion sur laquelle elle ne s'étend point est couverte par une plaque rigide, laissant une fente entre elle et la membrane.

» 2° Deux membranes élastiques sont tendues de telle manière, sur le bout d'un tuyau très court, que chacune couvre une partie de l'ouverture, et qu'elles laissent entre elles une fente.

(1) *Ouv. cit.*, t. II, p. 144.

» Lorsque la fente est bornée, d'un côté, par la membrane élastique, et d'un autre côté par une plaque rigide, à bord tranchant, par exemple de carton ou de bois, le résultat est le même que dans le cas d'une languette libre des deux côtés. Le son qu'on détermine en soufflant à travers le tuyau est d'un demi-ton à un ton entier plus élevé que celui qu'on produit en poussant un courant d'air délié sur la membrane elle-même et le dirigeant vers son bord. Dans tous les cas, on peut, en soufflant avec plus de force, élever de deux semi-tons, mais pas davantage, le son produit par le souffle. Celui qui a lieu quand on aspire l'air est plus aigu ; il n'est plus grave que quand la plaque rigide se trouve placée un peu en dedans, et que son bord est situé derrière la membrane. Si l'on emploie un tuyau rond, la membrane n'est tendue, comme dans le cas d'un tuyau quadrilatère, que suivant une direction parallèle à la fente : or, on sait que les membranes tendues dans un sens vibrent d'après les mêmes lois que les corps filiformes élastiques par tension. Les expériences dont je parle ici en fournissent aussi la preuve ; car, lorsqu'on tend une membrane de caoutchouc sur un châssis carré, de manière qu'elle ne soit tendue que dans une seule direction, l'un des bords étant libre et le bord opposé reposant sur le châssis, la lame entière donne le son fondamental si l'on souffle avec force sur le bord au moyen d'un petit tube très fin, tandis que, si l'on place un fil sur elle en travers, on peut, à l'aide du souffle, faire rendre l'octave à chacune de ses deux moitiés.

» Comme les membranes tendues dans un seule direction changent leurs vibrations d'après les mêmes lois que les corps filiformes élastiques par tension, il résulte de là qu'à égalité de tension, et l'embouchure restant la même, l'élévation du son augmente en raison inverse de la longueur de la membrane ou de la fente comprise entre la lame élastique et la plaque rigide.

» Je ne me suis point aperçu que la largeur de la fente influât sur l'élévation du son, comme il arrive avec les languettes métalliques ; mais le souffle ne parle plus dès que la fente est trop large.

» La situation du châssis, par rapport à la languette, est une circonstance importante. Lorsque le bord de la plaque de laiton est situé précisément en face de la languette membraneuse, le son peut être plus élevé de l'intervalle *ut-fa*, ou moins que quand la plaque solide est un peu plus avancée que la lame élastique.

» Le cas le plus intéressant est celui dans lequel deux membranes élastiques limitent la fente, de manière à imiter une glotte : ces membranes peuvent être également ou inégalement tendues.

» Les membranes de caoutchouc tendues faisant entendre un son lorsqu'on dirige un courant d'air sur leurs bords, cette particularité nous fournit le moyen d'amener au même degré de tension deux membranes de gomme élastique d'égale longueur, en changeant leur tension jusqu'à ce qu'elles rendent le même son quand on souffle sur leur bord avec un tube délié. Pour que l'une d'elles résonne sans l'autre, on abaisse un peu celle qu'on ne veut pas faire parler, on la couvre d'une lame mince de carton. Une fois qu'elles sont tendues bien également l'une à côté de l'autre sur un châssis carré, on examine quel est le son qu'elles produisent ensemble. Je l'ai trouvé plus grave que le son fondamental donné par chaque lamelle isolée au moyen d'un courant d'air dirigé sur elle avec un petit tube. Chacune d'elles donnant le *la*, leur son commun était *sol* ♯ ; leur son propre étant *ut*, elles faisaient entendre ensemble *si* ; étant accordées chacune en si, elles donnaient ensemble *la* ♯. Quand elles ne rendent pas toutes deux le même son, à cause d'une inégalité dans

leur tension, il paraît souvent ne point s'établir d'accommodation semblable à celle qui a lieu entre les vibrations de la languette métallique et de l'air du tuyau. On parvient rarement à obtenir les sons des deux lamelles avec le souffle. Le son que l'on entend en soufflant est ordinairement unique, comme si la lamelle plus tendue ou celle qui l'est moins ne résonnait pas, ou comme on l'entend lorsqu'on empêche l'une des deux lames de vibrer en appliquant dessus une plaque de carton. Il arrive fréquemment que la lamelle qui parle avec peine, parce qu'elle est accordée trop bas, ne vibre que faiblement, et qu'elle est poussée un peu en avant.

» Les expériences suivantes expliquent la résonnance d'un seul côté. Par exemple, les deux lamelles étaient accordées de manière à donner deux sons différents d'une octave. Si l'on soufflait sur l'une par le tuyau sur lequel elle était tendue, pendant qu'on tenait une plaque solide appliquée sur l'autre côté de la fente, elle donnait *ré*. Lorsqu'on enlevait la plaque solide, de manière que les deux lamelles, entre les tensions desquelles il y avait une octave de différence, limitassent la fente, le son était également *ré*, comme dans le cas où l'on retenait une des lamelles, et, en soufflant avec force, on pouvait le faire monter jusqu'à *ré* ♯, *mi*, *fa*. Quand le son produit immédiatement sans tuyau, par un courant d'air délié, était *mi* pour la lamelle la moins tendue, et *si* pour l'autre, de manière que la différence entre elles fût d'une quinte, le son que l'on obtenait par le tuyau, après avoir posé une plaque de carton sur la plus étendue, était *sol*. En retirant la plaque, de manière que les deux lamelles limitassent la fente, le son fondamental obtenu par le tuyau était également *sol*. Si l'une des lamelles donnait *ut*, et l'autre tendue *ré* ♯, j'obtenais, en soufflant doucement dans le tuyau, *ut*, c'est-à-dire le son fondamental de la lamelle la plus grave. Dans ce dernier cas, la lamelle donnant le son le plus aigu se comportait d'une manière passive, et n'influait pas sur les vibrations de celle qui donnait le son le plus grave. Mais il paraît que les vibrations agissent réellement quelquefois les unes sur les autres. Cagniard-Latour a déjà obtenu ce résultat dans une expérience analogue, c'est-à-dire qu'il a vu s'accommoder ensemble des vibrations des deux lamelles différemment accordées, et que, par exemple, quand la différence entre celles-ci était d'une quinte, le son produit en commun offrait la moyenne, ou la tierce. Je ne puis mettre en doute ce résultat ; mais je dois appeler l'attention sur une source d'erreur dans ces sortes d'expériences. On croit souvent apercevoir une accommodation là où il n'y en a point, à proprement parler. Ainsi, dans une expérience que j'ai faite, la différence entre les deux lamelles était d'une octave ; l'instrument donnait le *si*, et la lamelle la plus tendue faisait entendre le *fa* au-dessus ; il semblait qu'une accommodation eût lieu dans ce cas, et que la lamelle donnant *fa* produisît le *si* avec celle qui était plus grave qu'elle d'une octave. Mais l'accommodation n'était qu'apparente ; car, lorsque je repoussais la lamelle la plus grave, et plaçais une lame de carton contre l'autre, de manière que les deux bords ne fussent plus en face l'un de l'autre, mais que la lame solide fît une légère saillie au-dessus de la lamelle élastique, celle-ci, en parlant seule, donnait non plus *fa*, mais *si*, comme elle aurait fait si la fente eût été limitée par deux lamelles. La lame solide avait ici la même situation absolument que la lamelle la plus grave prend, tandis qu'on souffle, lorsqu'elle limite inégalement la fente ; en effet, le souffle la chasse un peu en avant, et elle ne vibre que faiblement.

» La règle est celle-ci : La lamelle qui résonne est celle qui peut le plus facilement être mise en vibration par le souffle, et, si l'embouchure est appropriée au mouvement des *deux lamelles*, elles peuvent vibrer toutes deux, et s'accommoder en-

semble pour produire un son simple ; mais elles peuvent aussi donner des sons différents, c'est-à-dire que l'embouchure peut, lorsqu'elle change, produire les deux sons l'un après l'autre.

» Les languettes métalliques de l'harmonica à bouche ne s'accommodent point lorsqu'on les fait parler ensemble par le même porte-vent de la bouche.

» Les membranes élastiques peuvent, du reste, être placées aussi les unes sur les autres par leurs bords. Dans ce cas également, on obtient des sons purs en soufflant.

» On peut modifier beaucoup les sons en posant le doigt sur différents points de la lamelle vibrante. Ces expériences ont été faites avec des membranes de caoutchouc qui étaient tendues sur l'extrémité d'un cylindre. Quand je posais le doigt sur le pourtour extérieur d'une des lamelles, le son s'élevait un peu, et, à mesure que je rapprochais le doigt de la fente, l'acuité des sons produits par le souffle augmentait.

» Les anches membraneuses diffèrent des anches métalliques quant au changement que le son subit lorsqu'on souffle avec plus de force. Un corps qui exécute des vibrations longitudinales, comme une colonne d'air, rend un son un peu plus aigu comme on donne plus de force au souffle ; un corps qui exécute des vibrations transversales donne des sons un peu plus graves lorsque ses excursions sont grandes, comme il arrive aux cordes et aux languettes métalliques. De là vient que le son d'une anche métallique est un peu plus grave quand on souffle plus fort (ce qui tient peut-être à ce que la base de la languette métallique ne vibre point quand le souffle est faible). Mais les lamelles membraneuses ne se comportent point, à cet égard, de la même manière que d'autres corps qui vibrent en travers, comme les cordes. En effet, toutes les fois qu'on souffle avec plus de force, le son devient plus aigu. Cependant il me semble aussi que le son d'un harmonica à bouche à languette métallique mince s'élève un peu quand on chasse l'air avec force, et le son de l'anche très délicate d'une trompette d'enfant parcourt, lorsqu'on accroît graduellement la force du souffle, l'étendue entière d'une octave et demie sans intervalles, soit qu'on ne souffle que dans la pièce qui la renferme, soit qu'on souffle dans le tuyau entier. »

Dans toutes ces expériences, pour nous le son est dû à la sortie périodique de l'air par la fente. La nature de la substance qui constitue cette fente n'a qu'une légère influence sur le son quand les circonstances sont les mêmes ; comme s'en est assuré A. Masson, qui a formé des appareils sifflants au moyen de tuyaux de gomme élastique dont l'une des ouvertures était limitée par un simple bourrelet de la même substance.

Les expériences qui viennent d'être relatées confirment les expériences et la théorie du physicien français. Il serait, en effet, impossible d'expliquer autrement la constance des sons obtenus quand on remplace une des lames membraneuses par une lame solide ; ou, lorsque les anches membraneuses libres donnent des sons très différents, on ne concevrait pas pourquoi les sons obtenus ne dépendent pas du son de l'anche et changent avec l'ouverture et la vitesse du courant d'air.

Nous répéterons que, si l'anche était la cause du son, quel que soit le moyen employé pour la mettre en vibration, elle devrait toujours donner le même son, ce *qui n'a pas lieu.*

Anches membraneuses avec tuyau. — J. Müller a publié beaucoup d'expériences sur les sons produits par des tuyaux munis d'anches membraneuses, expériences dont les résultats sont parfaitement d'accord avec la théorie des anches exposée plus haut et avec les notions simples qu'on possède sur les tuyaux. Nous avons dit que la longueur de la première onde, voisine de l'embouchure, ne s'accorde jamais avec la théorie: elle dépend du mode d'embouchure, de la largeur du tuyau et de la hauteur de l'harmonique, par conséquent de la pression de l'air. Mais il n'en est pas de même des longueurs des autres ondes. Si donc, dans les expériences de J. Müller, on calcule, comme dans celles de G. Weber, les longueurs d'onde de ces harmoniques, on les trouve d'accord avec les sons obtenus. Dans toutes ces expériences, il aurait fallu donner exactement les nombres de vibrations et principalement la distance des nœuds dans les harmoniques. Aussi toutes ces recherches ne peuvent-elles rien nous apprendre sur l'origine des sons dans les anches : leurs vibrations s'accommodent toujours à celles du tuyau dont elles ne peuvent en rien modifier le son.

On doit à J. Müller (1) une série de recherches sur les sons produits par des anches membraneuses munies de porte-vent dont il a varié la longueur. Dans tous ces cas, l'anche peut être considérée comme donnant naissance aux vibrations du tuyau porte-vent par la sortie périodique de l'air. Les lois établies par cet observateur sont conformes à ce qui a été vu par A. Masson, quand il plaçait la plaque au-dessus du tuyau. Si, en effet, on calcule la longueur d'un onde produisant un harmonique, on trouve qu'elle s'accorde avec la théorie : Ex. : La_3 est donné par un porte-vent de 9 pouces 10 lignes et un autre de 24 pouces 6 lignes, la distance des nœuds est de 14 pouces 8 lignes; or la théorie donne 14 pouces 4 lignes. *Sol* $\sharp_3$ est donné par des tubes de 13 pouces et de 27 pouces 6 lignes, la distance des nœuds est de 14 pouces 6 lignes; la théorie donne 15 pouces 4 lignes, et dans le second tableau on a :

Porte-vent sans corps de tuyau. — $Ré_4$ est donné par des tuyaux de 4 pouces 9 lignes et de 15 pouces 3 lignes; distance des nœuds 10 pouces 8 lignes, qui est exactement le son théorique.

Corps du tuyau sans porte-vent. — $Ré_4$ est donné par des tuyaux de 3 pouces 9 lignes et de 15 pouces; la distance des nœuds est égale à 11 pouces 3 lignes au lieu de 10 pouces 8 lignes.

Ut_4 est donné par des tuyaux de 17 pouces 6 lignes et de 5 pouces 6 lignes; la distance des nœuds est égale à 12 pouces qui est le son théorique.

Ces calculs, que nous croyons exacts, supposent que J. Müller avait accordé son piano avec un ut_3 de 512 vibrations.

Tous ces faits, qui paraissent très compliqués au premier abord, s'expliquent facilement si l'on adopte l'opinion que nous soutenons sur l'origine des sons produits par les anches.

A. Masson a fait quelques essais sur les sons dus à une plaque placée entre deux tuyaux. D'après lui, les deux tuyaux produisant seuls des sons différents avec la plaque, on entend, quand ils sont superposés, ou les harmoniques du tuyau inférieur, ou ceux du tuyau supérieur; quand les deux tuyaux sont parfaitement d'accord pour un son, ce dernier est très renforcé et on l'obtient seul : les deux tuyaux paraissent vibrer à l'unisson. Ces expériences, tout incomplètes qu'elles sont, don-

(1) *Ouv. cit.*, t. II, p. 158 et suiv.

nent néanmoins l'explication de celles de J. Müller. Espérons que A. Masson parviendra à résoudre complétement le problème difficile indiqué par cet auteur.

Conclusions sur la théorie des sons produits par les anches. — Pour compléter l'exposé de la théorie du physiologiste allemand sur les sons des anches, nous croyons devoir mettre sous les yeux du lecteur les conclusions suivantes, telles qu'elles ont été formulées par l'auteur lui-même :

« Ayant appris à connaître, dans ces derniers temps, des sons qui sont produits par le simple choc de liquides, comme ceux de la sirène, ou par les chocs d'un corps solide se succédant avec rapidité, comme ceux qui résultent des secousses données par les dents d'une roue, on a été tenté d'admettre que les sons des anches dépendent aussi des chocs de l'air qu'à chaque vibration elles empêchent de sortir de leur châssis. Le défaut d'éclat des sons que les anches donnent par percussion ou par pincement, sans souffle, semble justifier cette théorie. Cependant elle n'est pas prouvée, et plusieurs arguments s'élèvent contre elle d'une manière formelle. La discussion de ce point est d'une grande importance pour la théorie de la voix humaine ; en effet, il s'agit ici surtout de savoir qui résonne primitivement, dans la voix, des ligaments de la glotte ou de l'air.

» G. Weber, aux recherches classiques duquel nous devons une connaissance certaine des effets qui ont lieu dans les tuyaux d'anche, se prononce positivement en faveur de l'hypothèse dont je viens de parler. Voici comment il s'exprime : « Le son plein et fort que rend une plaque métallique qui vibre isolément dans son châssis, lorsqu'on souffle dessus, ne peut être produit par la plaque vibrante ; car alors il ne serait pas nécessaire d'exciter le son de celle-ci par un courant d'air, et elle donnerait un son absolument pareil, quant à l'élévation et à la plénitude, lorsqu'elle viendrait à être mise d'une manière quelconque en vibration, sans subir aucun changement dans sa situation et ses rapports, ce qui n'est pas. » En effet, Weber a excité, au moyen d'un archet de violon, les plus violentes vibrations dans la plaque pendant qu'elle demeurait unie avec les autres parties de l'instrument, sans parvenir à lui faire rendre un son plein et fort, susceptible d'être comparé; cependant je trouve que le son d'une guimbarde qu'on tient à la bouche est le même par l'effet de la percussion et quand on aspire l'air. Cette preuve ne me paraît pas décisive, et néanmoins il me semble que, dans les anches membraneuses, l'interruption du courant d'air ou les chocs n'exercent qu'une influence subordonnée sur la production du son, qu'ils contribuent seulement à le rendre plus fort et plus plein, mais que leur effet n'est pas de lui donner naissance. Les motifs suivants me font regarder comme invraisemblable la théorie qui attribue les sons des anches membraneuses aux pulsations de l'air :

» 1° Il n'y a aucune raison d'admettre que les sons des anches simples proviennent des interruptions du courant d'air, puisque les sons que les anches elles-mêmes doivent donner quand elles vibrent suffisent pour l'explication. A la vérité, les sons que les anches membraneuses produisent par percussion sont dépourvus d'éclat, et n'ont pas non plus le même timbre que les sons d'anche. Mais la première différence s'explique sans peine ; car un choc qui ne se répète pas plus d'une fois ne suffit point pour entretenir les vibrations. Quant à celle du timbre, *on ne* peut la mettre en doute ; cependant il y a d'autres instruments encore qui *donnent des* sons d'un timbre divers lorsqu'on les fait parler soit par une seule *percussion*, soit par une succession de chocs : c'est ce qui arrive, entre autres, à

une corde lorsqu'on la pince ou qu'on fait passer dessus un archet de violon. La même chose a lieu pour les sons d'anche, suivant que l'impulsion est momentanée ou soutenue. A la vérité, il y a des membranes, comme les lèvres et le sphincter de l'anus, qui ne résonnent point par la percussion, et qui donnent des sons d'anche très forts par le souffle ; mais il ne s'agit jamais, quant à ce qui regarde la manifestation d'un son, que du nombre de vibrations nécessaire pour le produire : or, l'expérience autorise seulement à conclure que, dans ces sortes de membranes, une succession régulière de vibrations n'est possible qu'autant qu'un certain état de tension persiste pendant qu'elles reçoivent le choc de l'air, et cette condition n'existe pas lorsqu'il s'agit d'une simple percussion.

» 2° Les sons que j'ai produits en soufflant avec un tube délié sur des languettes métalliques, et mieux encore sur des languettes membraneuses sans châssis, ne sauraient être expliqués par les seules interruptions du courant d'air ; ils ressemblent parfaitement, pour le timbre, à ceux que ces languettes rendent lorsqu'elles vibrent dans un cadre et agissent comme de véritables anches. A la vérité, on pourrait dire que les vibrations rétrogrades de la languette gênent aussi jusqu'à un certain point le filet d'air sortant du tube ; mais il serait difficile de voir là une interruption réelle, puisque le courant d'air change de direction à mesure que la languette recule. Le filet d'air, qui exerce une action soutenue, est bien plutôt comparable, en ceci, à l'archet de violon frottant une corde.

» 3° Il n'est pas non plus nécessaire, du moins pour les languettes membraneuses, que le châssis se ferme périodiquement pendant les vibrations de la languette. Alors même que la fente présente une largeur constante d'une ligne, les languettes membraneuses donnent souvent encore des sons clairs, et ces sons ne diffèrent pas, pour le timbre, de ceux que les mêmes languettes font entendre quand la fente est très étroite.

» 4° Si la théorie qui attribue les sons d'anche aux interruptions du courant d'air était exacte, les sons devraient croître en raison directe du nombre des interruptions, ce qui n'est nullement démontré. Il y a une position de la languette par rapport au châssis, dans laquelle elle détermine une fois autant d'interruptions du courant d'air qu'elle-même fait de vibrations : c'est celle dans laquelle elle bat à travers l'ouverture du châssis ; car, en le traversant, puis en revenant sur elle-même, elle interrompt deux fois le courant d'air ; le nombre des interruptions est au moins double de celui qui a lieu quand la languette ne fait que frapper juste dans l'ouverture du châssis et revient aussitôt sur elle-même. Le son d'une languette qui traverse son châssis devrait donc, toutes choses égales d'ailleurs, être plus aigu d'une octave que celui de la même languette exécutant des battements simples : or, cela n'a pas lieu. A la vérité, on pourrait objecter que, dans le premier cas, elle décrit des arcs entiers de vibration, tandis que dans le second elle ne décrit que des demi-arcs, étant retenue soit par le châssis lui-même, soit par le courant d'air, de manière que, dans la seconde circonstance, elle vibre avec une fois plus de vitesse que dans la première, et qu'ainsi les interruptions du courant d'air sont égales de part et d'autre. Mais, en examinant la manière dont se comportent les languettes membraneuses, on rencontre encore des difficultés. Si j'applique une lame de carton ou de bois sur une languette membraneuse tendue à l'extrémité d'un porte-vent, le son demeure le même, que la plaque soit directement en face de la languette, c'est-à-dire sur le même plan, ou qu'elle s'enfonce de dehors en dedans *du côté du porte-vent* ; dans les deux cas, la languette décrit également des

arcs entiers. Mais, si j'applique la lame de manière que son bord dépasse le plan de la languette, le son produit en soufflant dans le porte-vent est beaucoup plus grave; il l'est souvent de l'intervalle compris entre *ut* et *fa*. Que la lame fasse saillie en avant ou en arrière de la languette, les arcs de vibration demeureront les mêmes, et cependant les sons seront différents. Mais la différence tient à la manière diverse dont l'air est poussé dans les deux cas, et à la résistance diverse que le courant continu de cet air oppose, dans les deux cas, aux vibrations récurrentes de la languette.

» D'après ces motifs, il est vraisemblable que les languettes résonnent, non point par des interruptions du courant d'air, mais par leurs propres vibrations, et que les chocs donnés à l'air ne font que renforcer jusqu'à un certain point le son. A cet égard, les languettes métalliques se comportent, en général, comme les verges, les languettes membraneuses comme les cordes et les peaux tendues, et le son se produit d'autant plus facilement qu'un pareil corps possède encore plus d'élasticité malgré son peu de longueur. En étudiant les vibrations des corps élastiques tendus, on s'est trop attaché à une espèce de ces corps, aux cordes à boyau et autres analogues. Il est bien vrai que les cordes qu'on raccourcit beaucoup, en même temps qu'on diminue leur tension, perdent presque toute aptitude à produire des vibrations sonores; mais si, après leur détente, elles conservaient encore de l'élasticité, quelque courtes quelles fussent, elles n'en seraient pas moins capables de donner des sons graves. Or, il y a d'autres corps qui, bien qu'étant très détendus, conservent assez d'élasticité pour pouvoir vibrer régulièrement: tels sont le caoutchouc à l'état sec, et les tissus animaux (tunique artérielle) à l'état humide: aussi des pièces très courtes de ce corps produisent-elles des sons graves quand elles sont peu tendues et des sons aigus quand elles éprouvent une tension plus forte, et cela aussi bien par la percussion que par le souffle. Leurs vibrations changent, à tension égale, d'après la même loi exactement que celles des cordes, c'est-à-dire qu'elles croissent en raison inverse de la longueur, comme je l'ai fait voir précédemment.

» Quelque exact que soit ce parallèle, cependant un corps élastique par tension qui vibre comme anche, diffère d'une corde à plusieurs points de vue essentiels. La différence ne consiste pas en ce que la corde, après avoir été percutée, demeure abandonnée à elle-même, tandis que l'anche éprouve, de la part du courant d'air, des chocs continuels, tantôt plus et tantôt moins forts, puisque la percussion de la corde se renouvelle continuellement à l'aide de l'archet. Ce qu'il y a de particulier dans une anche, c'est que le degré d'intensité du choc soutenu influe sur la durée de ses vibrations, et change beaucoup le son fondamental qu'elle donne par percussion. J'ai fait voir précédemment que pour une languette de caoutchouc qu'on fait parler sans châssis, au moyen d'un tube délié, le son fondamental s'élève d'un semi-ton et plus, lorsque le souffle devient plus fort; mais une corde qu'on ne percute qu'une seule fois rend un son un peu plus grave quand le choc est fort que lorsqu'il est faible. Ce dernier effet s'explique en partie par le changement qu'une forte tension communique à la corde, qui devient plus longue, et qui ne revient pas tout de suite à son précédent état; peut-être aussi dépend-il en partie d'une sorte de torsion des molécules de la corde qui reposent sur le chevalet. Mais cette explication ne saurait s'appliquer à l'élévation du son d'une anche, car le résultat est précisément inverse de ce qui a lieu dans une corde. Lorsqu'une languette membraneuse vibre dans un châssis, la force du souffle élève le son, comme je l'ai fait voir, de plusieurs semi-tons, et, ainsi que je l'ai montré aussi, le son d'une mem-

brane animale élastique humide qui peut être élevé par semi-tons d'une demi-quinte entière en soufflant avec force. Cette élévation n'est pas la suite d'une formation de nœuds de vibration, comme dans une colonne d'air vibrante ; car elle a lieu d'une manière successive en passant par les intervalles des semi-tons et, lorsqu'on accroît successivement la force du souffle, par tous les intervalles des semi-tons d'une manière criarde : elle ne dépend donc pas de la languette immédiatement, mais du corps choquant, de l'air. Probablement l'élévation résulte de ce que, quand on souffle avec plus de force, l'air, qui agit sans interruption, communique à la languette un mouvement plus accéléré, jusqu'à ce qu'elle sorte du courant, tandis qu'au retour il la repousse plus tôt que ne le ferait un souffle moins fort, de sorte que la languette ne fait pas d'excursions rétrogrades pleines, étant chassée de nouveau avant de les avoir accomplies.

» Les languettes métalliques semblent bien se comporter à l'inverse des languettes membraneuses, puisqu'elles donnent un son plus élevé quand on souffle doucement que lorsqu'on souffle fort. Cependant ce phénomène paraît tenir uniquement à ce que, quand le souffle est faible, la languette n'entre point en vibration dans toute sa longueur, jusqu'à son attache. En effet, lorsque je souffle très fort dans un harmonica à bouche, le son finit par s'élever d'une manière très sensible, de sorte que, à cet égard aussi, il y a concordance entre les deux sortes de languettes.

» Il appartient donc à la nature des anches que, bien qu'elles se comportent, en général, comme les verges et les cordes, elles changent cependant leurs sons en proportion de l'action du corps qui les fait parler, de l'air. D'après cela, il faut les regarder comme une classe particulière d'instruments, à l'égard desquels les propriétés des corps élastiques, tant solides que liquides, doivent être prises simultanément en considération. »

De tout ce qui précède, il résulte que, d'après J. Müller, les languettes résonnent, non par l'interruption du courant d'air, mais par leurs propres vibrations, et que les chocs imprimés à l'air ne font, jusqu'à un certain point, que renforcer le son. Ainsi, dans les instruments à anche, l'origine des sons devrait être attribuée à la languette qui vibre à la manière des lames ou des cordes ébranlées mécaniquement par le courant d'air, les tuyaux n'étant que des appareils de renforcement.

Nous n'avons rien trouvé dans les expériences de cet auteur et des autres physiciens qui légitimât l'adoption de cette théorie, et conséquemment le rejet de celle qui était admise jusqu'à présent par G. Weber lui-même.

Les raisons et les objections invoquées par le professeur de Berlin, pour repousser cette dernière, ne nous paraissent pas concluantes. En effet, page 163, *ouv. cit.*, nous lisons : « Il n'y a aucune raison d'admettre que les sons des anches simples proviennent des interruptions du courant d'air, puisque les sons, que les anches elles-mêmes *doivent* donner quand elles vibrent, suffisent pour l'explication des premiers. » En admettant que les anches produisent des sons assez intenses par leurs vibrations propres, il ne s'ensuit pas que, dans ce cas, le son soit plutôt une cause qu'un effet secondaire. Mais les anches ne produisent presque pas de son, et c'est J. Müller lui-même qui le dit : « A la vérité, les sons que les anches membraneuses produisent par percussion sont dépourvus d'éclat et n'ont pas non plus le même timbre que les sons d'anche. »

Quant aux autres objections et observations du même auteur, elles ont déjà été

discutées précédemment; nous ajouterons seulement, comme étant opposées à sa manière de voir, les remarques suivantes :

1° Quel que soit le mode mécanique qu'on emploie pour faire vibrer des anches, si elles sont métalliques elles ne donnent jamais qu'un son très faible; quand elles sont membraneuses, parfois elles n'en produisent aucun.

2° Comment comprendre les profondes altérations apportées dans le son des anches par les éléments déjà cités, tels que la largeur des orifices et des tuyaux, la force du courant d'air, etc. ?

En admettant, au contraire, que les sons des anches sont toujours dus à des pulsations produites à l'orifice sur l'air extérieur par l'écoulement du gaz, nous faisons de profonds changements à la théorie ancienne, citée et attaquée par le physiologiste allemand. Nous avons montré, en effet, que dans cette théorie où les vibrations de l'anche règlent seules la périodicité de l'écoulement, il était impossible d'expliquer les changements qui surviennent dans les sons d'anche par diverses causes, en invoquant la réaction de l'anche et des colonnes d'air des tuyaux. Nous avons établi, à l'aide de plusieurs faits, que ces changements pouvaient s'observer dans des anches libres. Aussi des expériences de F. Savart et de A. Masson nous concluons, contrairement à la théorie précédente, que :

1° Dans tous les *instruments à vent* le son est originairement produit à l'embouchure par l'écoulement périodiquement variable du fluide, qui devient le siége d'un mouvement vibratoire communiqué soit à l'air du tuyau, soit à l'air extérieur; de telle sorte que les sons produits sont comparables, quant à leur cause et à leur nature, à ceux qu'on obtient au moyen de la sirène;

2° Dans les tuyaux à anche, les vibrations des languettes sont consécutives aux sons de l'air, elles s'ajoutent à ceux-ci et en modifient le timbre et l'intensité.

3° *Clef forée, flûte de pan.* — Dans ces appareils, le son est engendré de la même manière que dans les tuyaux d'orgue à biseau.

4° *Flûte.* — Cet instrument se compose d'un tuyau fermé à un bout, de bois, d'ivoire ou de cristal, ou, comme dans la flûte arabe, d'un tuyau de roseau ouvert aux deux extrémités. Ces instruments sont percés de trous latéraux destinés à changer la colonne d'air mise en vibration. Près de l'extrémité fermée, dans les flûtes ordinaires, existe une ouverture latérale appelée *embouchure*, et dont les bords sont taillés en biseau. Dans la flûte arabe, l'une des extrémités ouverte du tuyau est taillée de la même manière.

En soufflant obliquement contre les embouchures une lame d'air, celle-ci se divise et met en vibration la colonne d'air du tuyau, ainsi que nous l'avons déjà expliqué.

5° *Cor, trompette.* — Ces instruments sont composés d'une colonne d'air très longue et conique, terminée par un évasement nommé *pavillon*. On peut les construire avec une substance quelconque, même un corps non métallique, bois, carton, etc. Le tube étant très mince, il entre en vibration sous l'influence de la colonne d'air, et la qualité du son et le timbre varient beaucoup avec la nature de la matière employée. La colonne d'air vibre, dans ces instruments, d'après les lois qui régissent les tuyaux ouverts. Cependant, en fermant partiellement le pavillon avec la main, on produit des sons autres que ceux qui sont représentés par la série des nombres impairs.

La série des sons qu'on peut obtenir, sans être obligé d'introduire la main dans *le pavillon*, correspond aux nombres suivants :

ut_1, sol_1, ut_2, mi_2, sol_2, ut_3, $ré_3$, mi_3, sol_3, si_3, ut_4,

$$1 \quad \frac{3}{2} \quad 2 \quad \frac{5}{2} \quad 3 \quad 4 \quad \frac{9}{2} \quad 5 \quad 6 \quad \frac{15}{2} \quad 8$$

A l'aide de la main on obtient :

ut_1, la, sol_1, si_1, ut_3, $ré_2$, mi_3, fa_2, sol_2, la_2, si_2, ut_3, $ré^3$, mi_3, fa_3, sol^3, la_3, si_3, ut_4.

Il est facile, avec de l'habitude et par un emploi convenable de la main, de produire des demi-tons.

6° *Trombone.* — Dans cet instrument, on allonge la colonne jusqu'à ce qu'elle donne le son cherché. Dans les trompettes à clefs, on modifie au moyen des ouvertures la longueur de la colonne vibrante.

Dans tous ces instruments, le son produit d'abord à l'embouchure est renforcé ensuite par la colonne d'air. Dans le cor, l'embouchure est conique. Elle est formée d'une demi-sphère, variable en dimension pour les trompettes et les instruments analogues. Les dimensions de l'embouchure sont d'autant plus grandes que l'instrument doit donner des sons plus graves.

On a supposé, jusqu'à présent, que dans tous ces instruments le son résultait des lèvres vibrant comme des anches membraneuses. Cette supposition ne nous paraît pas fondée, car les embouchures, par leur construction même, s'opposent aux vibrations des lèvres; et tout le monde sait que, quand celles-ci vibrent énergiquement, le son est tremblotant et d'un mauvais effet. D'ailleurs, comment admettre qu'une substance membraneuse, et aussi épaisse que les lèvres, puisse vibrer à la manière d'une lame mince ? On comprend difficilement qu'un orifice, formé d'un contour membraneux et épais, puisse donner des sons par les vibrations de la matière qui limite la sortie de l'air.

Très probablement, le son est produit dans les cors par la sortie périodique de l'air; la grandeur de l'ouverture et la pression de ce fluide déterminent seules la hauteur du son, qui est d'autant plus pur que les lèvres sont plus tendues pour une même grandeur d'orifice. Les lèvres, placées dans un milieu en vibration, obéissent nécessairement à ce mouvement vibratoire, mais elles ne sont en aucune façon la cause première de ces oscillations de l'air, et leurs vibrations ne sont qu'un effet secondaire.

7° *Clarinette, hautbois, basson.* — Ces instruments, de métal ou de bois, sont formés d'un tube terminé par un pavillon; ils portent des ouvertures destinées à faire varier la longueur de la colonne d'air. Le son est originairement produit dans un appareil appelé *embouchure*, qui, dans la clarinette, est formée par une lame placée sur une gouttière. Dans le hautbois et le basson, l'embouchure est construite avec deux lames de roseau appuyées l'une contre l'autre de manière à laisser une extrémité ouverte, à forme elliptique, dont les axes varient de longueur avec la gravité ou l'acuité de l'instrument.

Il est difficile de regarder comme exacte la théorie qu'on donne de ces appareils. On suppose que le son résulte des vibrations des lames qui forment l'embouchure. On n'a pas fait attention que la pression des lèvres et le contact des lames s'opposent essentiellement aux vibrations de ces dernières, qu'on ne peut

empêcher qu'en partie, ce qui donne au son un timbre particulier. La flexibilité des lames a pour but de permettre au joueur de modifier la grandeur de l'ouverture en même temps que la pression de l'air, ce qui rend l'usage de ces instruments très difficile. Ce n'est qu'avec une grande habitude qu'on peut arriver à modérer la grandeur des ouvertures et l'élasticité de l'air de manière à posséder ces instruments comme on possède la faculté de modifier ces mêmes éléments dans l'action de siffler.

Si les lames ne sont pas serrées et peuvent vibrer dans toute leur étendue, on produit très souvent des sons aigus, ce qui ne s'accorde guère avec les idées généralement admises sur ces instruments. Il est bien certain que, dans le hautbois le son est dû à l'écoulement périodique de l'air par un orifice de grandeur variable, et qu'il est renforcé par la colonne d'air. Les vibrations de l'instrument, et surtout des anches, modifient le timbre des sons; mais les anches ne vibrent que secondairement sous l'influence du mouvement de l'air.

8° *Appeau des oiseleurs.* — Cet instrument, auquel Savart assimile l'organe vocal de l'homme, mérite toute notre attention : aussi ses propriétés et sa construction seront-elles exposées avec quelques détails, que nous emprunterons, en partie, au célèbre physicien.

Il est ordinairement d'ivoire, mais souvent de bois ou de métal. Sa forme est très variable : tantôt c'est un petit tuyau cylindrique de huit à neuf lignes de diamètre et de quatre lignes de hauteur, fermé à chacune de ses bases par une lame mince et plane, percée à son centre d'un trou d'environ deux lignes de diamètre; tantôt c'est un petit vase hémisphérique qui présente également deux orifices opposés.

Les chasseurs placent cet instrument entre les dents et les lèvres, et en aspirant ou soufflant l'air avec plus ou moins de force à travers les deux orifices, ils parviennent à obtenir différents sons.

On peut arriver plus sûrement à ce résultat en armant ce petit appareil d'un porte-vent cylindrique. On remarque qu'il peut alors donner tous les sons compris dans une étendue d'une octave et demie à deux octaves en parcourant, en général, l'intervalle de ut_4 à ut_6. Mais quand on sait bien se rendre maître de la vitesse du courant d'air, il est possible d'en obtenir des sons encore plus graves, de sorte qu'il semble qu'il n'y ait d'autre limite à cet abaissement que celle qui résulte de la difficulté qu'on éprouve à bien ménager le vent. Il ne paraît pas non plus qu'il y ait une limite pour les sons aigus : plus la vitesse du courant d'air est grande, plus l'acuité augmente.

Tous les sons produits par cet instrument ne présentent pas la même qualité; les plus graves sont sourds et faibles, les plus aigus sont si perçants qu'on a de la peine à les supporter. Mais ceux qui occupent l'intervalle compris entre ces deux extrêmes sont remarquables par leur intensité, leur pureté et leur éclat, surtout quand l'instrument est fait avec soin. Ils ont tous une analogie très marquée avec ceux qu'on peut faire rendre à une embouchure isolée de son tuyau. Le timbre est le même, et, de part et d'autre, il y a possibilité de parcourir distinctement un intervalle d'une octave et demie à deux octaves par les seules variations de la vitesse du courant d'air; de sorte qu'on pourrait soupçonner que la production des sons, dans ces deux cas, dépend de causes analogues.

On peut augmenter à volonté le volume de ce petit instrument, même du double

et du quadruple, ou bien le diminuer et en varier la forme de mille manières sans que les résultats cessent d'être analogues à ceux que nous venons d'indiquer : seulement il sera d'autant plus facile d'obtenir des sons graves que les dimensions seront plus considérables. Mais, un de ces instruments étant donné, il y aura toujours un son qui sortira plus facilement que tous les autres; et si l'on fait varier quelqu'une des dimensions, ce sera un autre son qui jouira de la prérogative d'être le plus intense de tous; de sorte que si l'on pouvait faire un pareil instrument tel que l'étendue pût varier et s'approprier à la disposition la plus convenable pour chaque son, tous les sons produits auraient une intensité constante. Toutes choses égales d'ailleurs, le diamètre seul des orifices a une influence très appréciable sur l'acuité ou la gravité des sons. Ils sont, en général, plus graves quand les orifices sont plus larges.

Quant à la production même des sons, dans ce cas, il semble qu'elle soit due à ce que le courant d'air qui traverse les deux orifices, entraînant avec lui la petite masse du fluide contenue dans la cavité, en diminue la force élastique et la rend par conséquent incapable de faire équilibre à la pression de l'atmosphère, qui, en réagissant sur elle, la refoule et la comprime jusqu'à ce que, par son propre ressort et sous l'influence du courant qui continue toujours, elle subisse une nouvelle raréfaction suivie d'une seconde condensation et ainsi de suite. On conçoit que ces alternatives d'état étant assez rapprochées, elles doivent donner naissance à des ondes qui se répandent dans l'air extérieur et qui deviennent susceptibles de procurer la sensation d'un son déterminé. Cependant il faut noter que la nature même des parois qui composent l'instrument paraît aussi exercer une influence sur le nombre des oscillations et sur la qualité des sons qui en résultent. On observe que si ces parois sont peu épaisses, elles vibrent avec beaucoup d'énergie, que les sons ont quelque chose d'aigre et de glapissant; et si, dans un de ces instruments, ayant une forme hémisphérique, on remplace la lame plane par une feuille mince de quelque substance extensible, comme du parchemin, les sons sortent plus facilement et sont en général plus graves, beaucoup plus pleins et plus agréables que quand cette paroi est formée d'une substance solide (1).

A. Masson a constaté qu'en plaçant, à l'extrémité d'un tuyau cylindrique de 2 à 3 centimètres de longueur, un orifice circulaire d'un diamètre convenablement choisi, on pouvait, quelle que fût la nature des parois du tube et des bords de l'ouverture, obtenir un son très pur, dont la hauteur variait avec les dimensions de la colonne d'air. Il est très difficile d'avoir, dans de très petits tuyaux, des harmoniques qui exigeraient une trop forte pression, et les sons fondamentaux d'un même appareil restent constants entre des limites de densité de l'air assez étendues. Savart a reconnu que, parmi les sons qu'un appeau peut rendre, il y en a un qui sort plus facilement que tout autre, et qui est beaucoup plus pur; ce son, qu'on peut appeler le *son fondamental* de l'appeau, est celui que rend cet instrument, considéré comme tuyau, et mis en vibration au moyen d'un tube aplati, par lequel on souffle contre le bord de l'appareil.

Lorsqu'on place un appeau dans la bouche ou qu'on ajoute divers tuyaux, on peut obtenir des séries de sons très variées, mais qui n'ont pas la pureté du son fondamental, excepté quand la colonne d'air ajoutée peut vibrer à l'unisson du son fondamental de l'appeau, ou produire un de ses harmoniques.

(1) SAVART, *Ann. de phys. et de chimie*, 2e série, t. XXX, p. 69 et suiv.

Masson pense, en s'appuyant sur ses propres expériences, que le son est produit à l'un ou à l'autre des orifices de l'instrument en question, et que le phénomène de la production du son est le même que dans les tuyaux placés sur une plaque munie à son centre d'un orifice circulaire. L'air éprouve, en passant dans les ouvertures, des variations périodiques dans sa densité et son écoulement, et ces changements de pression déterminent, dans la masse d'air, des vibrations synchrones. L'appeau vibre donc comme un simple tuyau en partie fermé. Il n'y a pas seulement analogie, comme le pensait Savart, mais il y a identité complète entre le son produit dans cet instrument et celui qu'on obtient dans les tuyaux d'orgues à biseau ou même à anches. Les pulsations périodiques de l'air aux orifices donnent naissance à des ondes qui se propagent dans l'air extérieur.

Quand l'appeau est placé dans la bouche ou qu'il est muni de tuyaux, les vibrations qui ont lieu aux orifices augmentent ou diminuent avec la vitesse du courant d'air, et peuvent être à l'unisson ou dans des rapports simples avec celles que les masses d'air ajoutées sont capables de rendre; dans ce cas, ces dernières renforcent le son excité par l'air traversant les orifices. C'est ainsi qu'on doit expliquer les divers sons d'un même appeau, indépendamment du son fondamental, qui est toujours le plus intense et le plus pur. On conçoit même qu'un appeau isolé produise plusieurs harmoniques, comme un tuyau. Nous insisterons sur ce fait que, pour de très petites masses d'air et des ouvertures convenables, on n'obtient qu'un seul son très pur, qui est le son fondamental; il sort plus facilement que les autres, qui exigent d'assez grandes variations, en plus ou en moins, dans la vitesse du courant qui donne le son principal. Malgré les travaux de Savart et de Masson, on doit désirer que de nouvelles recherches soient tentées pour découvrir la théorie de l'appeau, qui a joué, dans ces derniers temps, un rôle si important dans l'étude de la voix.

A cette longue série d'instruments nous en ajouterons un, beaucoup plus modeste, beaucoup plus connu, qui n'a jamais été indiqué par les physiologistes, quoique, à notre avis, il présente avec l'organe vocal de certains animaux plus d'analogie que tous les autres.

Il n'est personne qui, enfant, n'ait confectionné des instruments sonores avec les tiges creuses de certaines plantes, d'oignon par exemple. Il suffit, pour avoir de très beaux sons avec ces tuyaux membraneux, de les serrer entre les lèvres, tout près de l'une de leurs extrémités, de manière à former une ouverture étroite longitudinale, et variable avec la hauteur du son qu'on doit produire pour mettre la colonne d'air en vibration. L'élasticité des lèvres permet facilement d'atteindre le but.

Il nous semble difficile de rapporter aux instruments à anches, même à anches membraneuses, l'instrument précité: on ne peut pas admettre ici que les parois, serrées par les lèvres, vibrent comme lames et produisent des sons par elles-mêmes. Les expériences de Masson, sur l'écoulement des gaz, peuvent seules conduire à une explication satisfaisante de la production des sons dans ces tiges végétales, où les vibrations résultent de l'écoulement de l'air à travers une fente ou un orifice très étroit.

Conclusion générale.

En résumé nous sommes arrivés, par des expériences et des raisonnements qui nous ont paru devoir convaincre nos lecteurs, à ce résultat que, *dans tous les instruments à vent, le son produit doit être attribué à une cause unique, l'écoulement périodiquement variable de l'air à travers des orifices différant par leurs dimensions, leurs formes et leur nature.*

Ce gaz éprouve à sa sortie même un mouvement oscillatoire, et résonne en exerçant son action sur la masse d'air des instruments, qui deviennent seulement des appareils de renforcement. Les vibrations ou chocs périodiques, que la résonnance de l'air communique aux diverses parties solides des tuyaux, modifient le timbre des instruments, mais ne sauraient jamais être la *cause première* et réelle des sons de la colonne.

APPAREIL VOCAL ET VOIX DE L'HOMME ET DES MAMMIFÈRES.

Dans l'homme et les mammifères, l'appareil vocal comprend : les *poumons* qui, aidés d'un système de muscles particuliers, fournissent et chassent l'air, élément générateur du son ; le *larynx*, qui est l'organe exclusif de la production du son vocal ; enfin, le *pharynx*, la *bouche* et les *fosses nasales* qui, situés au delà du larynx, forment le tuyau par lequel le son s'écoule. Nous n'avons à nous occuper, pour l'instant, que de l'organe essentiel de la voix, c'est-à-dire du larynx.

I. Dans le *larynx* de l'homme, espèce de boîte cartilagineuse qui fait saillie à la partie antérieure du cou et qu'à l'état normal l'air traverse pour sortir des poumons, on compte, comme *cartilages* principaux : le thyroïde, le cricoïde, les deux aryténoïdes et l'épiglotte. Il faut y ajouter les *tubercules de Santorini* et les *cartilages de Wrisberg*. Ces derniers ne se rencontrent pas constamment ; lorsqu'ils existent, on les trouve cachés dans l'épaisseur des replis aryténo-épiglottiques.

Ces diverses pièces solides sont unies entre elles par des ligaments étendus des unes aux autres. Dans certains points, elles présentent des surfaces articulaires qui sont mutuellement en rapport et qui permettent aux cartilages d'exécuter des mouvements variés, mais parfaitement déterminés. Les articulations des petites cornes du cartilage thyroïde avec le cartilage cricoïde sont des arthrodies ; les articulations des cartilages aryténoïdes avec le cartilage cricoïde appartiennent aux articulations par emboîtement réciproque.

Des *muscles*, extrinsèques et intrinsèques, sont annexés à cet appareil cartilagineux. Les premiers sont tous ceux qui, immédiatement ou médiatement, élèvent ou abaissent le larynx. Les seconds sont au nombre de neuf : quatre muscles pairs et un muscle impair.

Je rappellerai ici succinctement les résultats que j'ai obtenus autrefois en étudiant l'action de ces derniers muscles (1). Le mode d'expérimentation que j'ai mis en usage a consisté à couper isolément, *sur des chiens*, etc., les petits filets nerveux qui animent ces muscles, ou à galvaniser isolément, de suite, après la mort, et selon certaines

(1) *Rech. expérim. sur les fonct. des nerfs et des muscles du larynx, et sur l'influence du nerf accessoire de Willis dans la phonation.* Mém. inséré dans la Gaz. méd., Paris, 1841.

règles, tel rameau nerveux qui anime tel muscle laryngé; puis, le larynx étant abandonné à lui-même, à observer l'effet physiologique que ce muscle produit lors de sa contraction propre.

a. C'est ainsi qu'après avoir coupé les ramuscules nerveux qui vont se distribuer aux muscles *crico-thyroïdiens*, j'ai pu constater une raucité de la voix très prononcée, due au défaut de tension des cordes vocales, plus spécialement des supérieures, raucité que je faisais disparaître à volonté en rapprochant, à l'aide d'une pince, le cricoïde du thyroïde, et en remplaçant ainsi l'action des muscles crico-thyroïdiens. Ces derniers sont donc essentiellement des *tenseurs* des cordes vocales et conséquemment des constricteurs de la glotte.

b. Sur des larynx de bœufs, de chevaux ou de chiens récemment tués, les filets du laryngé inférieur qui vont au muscle *aryténoïdien* ont été mis à découvert, puis unis et croisés sur la ligne médiane, de manière à faire passer un courant électrique dans les filets de chaque côté : aussitôt la glotte s'est rétrécie, et les cartilages aryténoïdes se sont rapprochés avec force. Le muscle *aryténoïdien* est bien un constricteur de la glotte, et plus spécialement de la *glotte inter-aryténoïdienne*.

c. Après avoir coupé les rameaux nerveux que les récurrents envoient aux muscles aryténoïdien, crico-aryténoïdiens postérieurs et thyro-aryténoïdiens, de manière à laisser intacts les seuls filets des muscles *crico-aryténoïdiens latéraux*, j'ai croisé les deux récurrents et les ai mis en contact avec les extrémités des réophores. Alors les sommets des apophyses antérieures des aryténoïdes, de chaque côté, se sont aussitôt rapprochés, de manière que la glotte inter-aryténoïdienne demeurant ouverte en arrière, la glotte inter-ligamenteuse s'est fermée dans toute son étendue par l'accolement des cordes vocales inférieures. Les muscles crico-aryténoïdiens latéraux sont donc des constricteurs de la glotte, et, suivant moi, spécialement *de la glotte inter-ligamenteuse ou vocale*.

d. Pour déterminer l'action des muscles *crico-aryténoïdiens postérieurs* (action qui, d'ailleurs, n'est pas controversée comme celle des deux muscles précédents), j'ai galvanisé les troncs des récurrents, après n'avoir conservé que les filets fournis par ces nerfs aux muscles indiqués. Aussitôt les aryténoïdes ont exécuté un mouvement en vertu duquel les sommets des apophyses antérieures de leur base se sont portés en dehors, les cordes vocales étant un peu tendues, mais surtout écartées de l'axe. Les crico-aryténoïdiens postérieurs sont donc des tenseurs et surtout des *dilateurs* de la glotte dans toute son étendue.

Ainsi, tandis que, d'après nos observations, il y a un constricteur (m. aryténoïdien) plus spécialement réservé à la *glotte inter-aryténoïdienne*, et des constricteurs (m. crico-aryténoïdiens latéraux), plus particulièrement destinés à rétrécir la *glotte inter-ligamenteuse*, il existe une seule paire de muscles (m. crico-aryténoïdiens postérieurs) qui dilate nécessairement à la fois les deux divisions de la glotte, et de la sorte joue un rôle des plus importants dans l'inspiration.

e. Enfin, en appliquant le galvanisme aux filets nerveux qui vont aux muscles *thyro-aryténoïdiens*, on constate que ces muscles, en se contractant, donnent plus de rigidité aux cordes vocales inférieures et les rendent plus vibrantes.

Après avoir étudié l'action de l'appareil musculaire propre au larynx, il nous reste à déterminer l'action du système nerveux sur cet organe.

1° *Nerfs laryngés supérieurs*. — Une conséquence intéressante des expériences

variées auxquelles j'ai soumis les nerfs laryngés supérieurs, c'est que, des deux rameaux propres à l'un ou à l'autre, l'*externe seul*, par les filets qu'il envoie aux muscles crico-thyroïdiens, *a de l'influence sur la phonation*. En effet, j'ai pu diviser, sur des chiens, les ramuscules nerveux qui animent exclusivement ces muscles, et aussitôt, comme je l'ai dit plus haut, est survenue une raucité singulière de la voix, due au relâchement subit des cordes vocales, raucité que d'ailleurs je faisais disparaître à volonté, en rapprochant, à l'aide d'une pince, le cricoïde du thyroïde, et en remplaçant de la sorte l'action des muscles crico-thyroïdiens sur les replis vocaux. Au contraire, jamais il ne m'a été possible de constater la moindre modification de la voix, après la section isolée des *rameaux laryngés internes*, pratiquée au-dessus du cartilage thyroïde, et vers le lieu où ils traversent la membrane thyro-hyoïdienne pour pénétrer dans l'intérieur du larynx.

Ce dernier résultat négatif trouve une nouvelle confirmation dans l'expérience suivante : J'ai galvanisé, sur un grand nombre d'animaux (lapins, chiens, chevaux, bœufs), les rameaux laryngés internes, sans susciter la plus légère convulsion dans le muscle aryténoïdien ou ailleurs; autre preuve que ces rameaux, selon moi, exclusivement sensitifs, n'ont pas pour mission de faire contracter ce muscle (1), et que, par conséquent, on ne saurait admettre, comme on l'a avancé, que la gravité de la voix, succédant à la section des nerfs laryngés supérieurs, dépende de la paralysie du muscle aryténoïdien (2). Mes expériences démontrent, de la manière la plus directe, qu'elle résulte de la paralysie des seuls muscles crico-thyroïdiens.

2° *Nerfs laryngés inférieurs ou récurrents.* — Chez les animaux, une altération profonde de la voix ou sa perte absolue, ainsi qu'un trouble plus ou moins notable de la respiration, ne manquent jamais de survenir après la section des récurrents : la lésion de ces nerfs, chez l'homme, s'accompagne de symptômes analogues (3).

Contrairement à Galien (4) et à d'autres expérimentateurs, qui notèrent l'*aphonie complète* comme résultat persistant de la lésion des deux nerfs précédents, Haller (5) admet qu'à cause de l'influence qu'exercent encore les nerfs laryngés supérieurs, les animaux peuvent n'être pas aphones, et J. Müller (6) partage la même opinion.

Sédillot (7), ayant excisé les récurrents sur quatre chiens, annonce « qu'un de ces chiens aboya distinctement, qu'un autre fit entendre quelques cris aigus et glapissants, et que les deux derniers *restèrent muets.* » Magendie (8) a entendu *plusieurs* animaux, privés de ces nerfs, pousser des cris assez aigus dans des instants où ils éprouvaient une violente douleur. Suivant lui, « ce phénomène s'entend aisément par la distribution des nerfs du larynx; le *muscle aryténoïdien, qui reçoit ses nerfs du laryngé supérieur*, se contracte; et dans le moment d'une expiration rapide, il applique fortement l'un contre l'autre les cartilages aryténoïdes; la glotte

(1) C'est à tort que Magendie (*Précis élém. de physiol.*, t. I, p. 288) avance une assertion contraire.

(2) MAGENDIE, *ouv. cit.*, t. I, p. 302.

(3) Voir les faits pathologiques relatés dans le t. II, p. 363 et suiv. de mon *Traité d'anat. et de physiol. du syst. nerveux.*

(4) *De locis affectis*, lib. I, cap. VI, p. 48, t. VIII. Edit. græc.-lat. de Kühn.

(5) *Elementa physiologiæ*, t. III, p. 409.

(6) *Physiol. du syst. nerv.* Trad. de Jourdan, t. I, p. 322.

(7) *Thèse inaug.*, n° 274, 1829.

(8) *Précis élém. de physiol.*, t. I, p. 294.

se trouve assez étroite pour que l'air puisse faire entrer en vibration les muscles thyro-aryténoïdiens, bien qu'ils ne soient point contractés. »

Avant de vouloir juger, par voie d'expérimentation, la valeur de cette dernière théorie, sachons préalablement s'il est exact d'avancer que les animaux privés des nerfs laryngés inférieurs puissent encore faire entendre des cris aigus.

Je répondrai négativement pour certains cas, et affirmativement pour d'autres. En effet, j'ai conservé, pendant quatre et cinq semaines, des chiens auxquels les deux récurrents étaient excisés, sans que leur voix se soit jamais rétablie : aucun cri aigu n'était possible, et, quand ces animaux poussaient une violente expiration, comme pour crier, ils faisaient entendre seulement une sorte de ronflement laryngien, en tout semblable à celui qu'on obtient avec un soufflet, duquel on expulse l'air avec force à travers un larynx dont la glotte est un peu large. Or, les chiens, sur lesquels je faisais ces dernières observations, étaient *adultes ;* tandis que ceux qui, quoique privés de leurs récurrents, ont pu encore pousser des cris aigus, étaient tous âgés seulement de quelques mois (1). Si Legallois a reconnu que les effets de la section de ces nerfs sur les mouvements respiratoires du larynx sont singulièrement modifiés par l'âge de l'animal, aucun physiologiste, que je sache, n'avait soupçonné qu'il en fût de même pour la phonation : plus loin, je ferai connaître une configuration de la glotte, particulière aux jeunes animaux, qui doit singulièrement les aider à produire des sons aigus dans la circonstance indiquée.

On ne peut admettre l'explication proposée plus haut par Magendie, qui, sans rechercher comment la voix est conservée dans certains cas et abolie dans d'autres, après la paralysie des récurrents, rapporte un effet inconstant, de son aveu même, à une cause constante, c'est-à-dire à la persistance d'action du *muscle aryténoïdien, qui détermine entre les aryténoïdes un rapprochement nécessaire à la formation des sons aigus.* En effet, d'une part, le muscle aryténoïdien ne saurait agir sur ces cartilages, comme on le suppose, puisqu'il est paralysé par la section même des récurrents ; et, d'autre part, les crico-thyroïdiens, animés encore par le laryngé supérieur (rameau externe), peuvent très bien, quoique seuls, en tendant les replis vocaux, entretenir, *si l'animal est jeune*, la glotte dans les conditions nécessaires à la production des sons aigus. Ce fait est d'ailleurs confirmé par la paralysie de ces muscles, que je détermine à l'aide de la section de leurs filets nerveux : celle-ci étant pratiquée, l'animal ne peut plus proférer ses premiers cris, qui, au contraire, continuent après que les laryngés internes sont coupés. C'est donc seulement aux muscles crico-thyroïdiens qu'appartient, dans ces cas, le rôle attribué à tort au muscle aryténoïdien.

Quant à la configuration de la glotte, favorable, chez les jeunes animaux, à la production des sons aigus après l'excision des récurrents, il faut d'abord savoir, comme d'ailleurs je l'ai déjà dit, que cette ouverture présente : 1° une partie antérieure ou *inter-ligamenteuse*, bordée par les cordes vocales inférieures ; 2° une partie postérieure ou *inter-cartilagineuse* limitée latéralement par les apophyses antérieures des cartilages aryténoïdes. Or, j'ai reconnu que, suivant l'âge, les dimensions relatives de ces deux portions varient beaucoup ; qu'ainsi, à une époque assez rapprochée de la naissance, la seconde est infiniment petite relativement à la première, ce qui tient à l'absence presque complète des apophyses antérieures des cartilages aryténoïdes. Aussi, chez les animaux encore assez jeunes, les cordes

(1) J'ai répété ces expériences sur des lapins avec les mêmes résultats.

vocales, par le fait même de leur tension, se rapprochent-elles avec facilité pour permettre des sons aigus ; tandis que l'obstacle, qui empêche ceux-ci chez les animaux plus âgés, réside évidemment dans l'ampleur de leur glotte inter-cartilagineuse, dont les dimensions ne sauraient d'ailleurs être suffisamment rétrécies à cause de la paralysie incontestable du muscle aryténoïdien.

Afin de démontrer la réalité de l'obstacle indiqué, poussez de l'air dans le larynx d'un animal mort, mais adulte, et il vous sera impossible, malgré la tension des replis vocaux, d'obtenir des sons aigus, si d'abord, pour diminuer la glotte inter-cartilagineuse, vous ne rapprochez les aryténoïdes : au contraire, chez les jeunes animaux, cette dernière précaution est inutile quand les cordes vocales sont tendues ; et, par conséquent, l'action des crico-thyroïdiens (*tenseurs de ces cordes*), sans le concours de l'aryténoïdien (*constricteur de la glotte inter-cartilagineuse*), toujours paralysé après la section des récurrents, suffit à la production des sons aigus (1).

La glotte inter-ligamenteuse ou vocale proprement dite, est, comme chacun le sait, limitée par les cordes vocales inférieures seulement ; les supérieures n'en font nullement partie. C'est entre la corde vocale supérieure et la corde vocale inférieure, d'un côté, qu'existe le ventricule correspondant du larynx.

Les cordes vocales inférieures sont élastiques ; de là leur aptitude à vibrer. Cette propriété est due à la présence d'un tissu élastique particulier qui entre dans leur composition. Ce tissu élastique est jaune ; d'après Schwann et Lauth, il est formé de fibres qui se divisent et s'anastomosent. Eulenberg (2) a reconnu qu'il ne fournissait qu'une petite quantité de colle, et seulement après une coction prolongée pendant plusieurs jours.

On trouve également du tissu élastique dans le ligament hyo-thyroïdien et dans le crico-thyroïdien moyen.

D'après les recherches de Lauth (3) le tissu élastique est abondamment répandu dans le larynx. Il y forme une couche qui prend son origine au niveau de la moitié inférieure de l'angle du cartilage thyroïde, entre les insertions des muscles thyro-aryténoïdiens. De ce point, les fibres se portent en divergeant de haut en bas et d'avant en arrière, pour venir se fixer à tout le bord supérieur du cartilage cricoïde, excepté dans le point où s'articulent les cartilages aryténoïdes. Les ligaments supérieurs et inférieurs de la glotte sont unis également par une couche mince de tissu élastique, qui revêt le ventricule de Morgagni. Enfin ce même tissu se rencontre dans le ligament hyo-thyroïdien latéral, dans les ligaments thyro-épiglottique, hyo-épiglottique et glosso-épiglottique.

Il y a des différences bien tranchées, sous le point de vue du degré de développement entre le larynx de l'homme et celui de la femme ; le premier l'emporte environ des deux tiers sur le second par le volume. Le cartilage thyroïde de la femme a, relativement, les cornes inférieures plus grandes et les supérieures plus pe-

(1) Les expériences multipliées que j'ai faites sur le *nerf spinal* ou accessoire de Willis concourent toutes à établir, comme celles de Bischoff, que ce nerf mérite seul le nom de *nerf vocal*, et qu'il préside à la phonation spécialement par sa portion bulbaire (*branche interne*).

(2) *De tela elastica*. Berlin, 1836.

(3) *Mém. de l'Acad. royale de méd.* Paris, 1835, t. IV, p. 95.

tites (1). L'échancrure du bord supérieur de ce cartilage est plus profonde chez l'homme ; chez ce dernier la pomme d'Adam est plus saillante, et l'angle sous lequel les deux moitiés du cartilage se rencontrent est plus aigu. Chez la femme, les ventricules de Morgagni sont plus petits ; les cordes vocales sont plus courtes et plus étroites.

C'est surtout dans les dimensions de la glotte que les deux sexes présentent des variétés remarquables. D'après Huschke (2), chez la femme, la longueur de la glotte est de 6 lignes ; elle est de 11 lignes chez l'homme.

II. Dans l'*orang-outang*, l'épiglotte est courte, très concave à sa base, tronquée et échancrée ; les cartilages aryténoïdes sont plus petits que dans l'homme, et les cunéiformes sont plus grands. Les rubans vocaux sont libres et tranchants ; l'ouverture du ventricule est ovale et très large. Le ventricule lui-même est une grande cavité ovale, large en tous sens, divisée en deux parties par une demi-cloison. La partie supérieure de cette cavité communique par un trou percé entre le cartilage thyroïde et l'os hyoïde, avec un grand sac membraneux situé dans la gorge (3). Ces deux sacs sont accolés, mais ne communiquent pas l'un avec l'autre.

Dans plusieurs singes de l'ancien continent, l'os hyoïde forme un bouclier bombé qui sert à protéger le commencement d'un sac membraneux simple, qui communique avec le larynx, par un trou situé entre la base de l'épiglotte et le milieu du bord antérieur du cartilage thyroïde.

Parmi les singes du nouveau continent, c'est dans l'*alouate* ou *sapajou hurleur* qu'on trouve la disposition la plus remarquable. L'os hyoïde, bombé en forme de vessie arrondie, offre une ouverture large et carrée. Le larynx a la forme ordinaire de celui des sapajous, et chaque ventricule communique avec une poche membraneuse qui se glisse entre l'épiglotte et l'aile contiguë du cartilage thyroïde pour se porter vers l'os hyoïde. Il résulte de cette conformation, que l'air qui a passé entre les cordes vocales pénètre en partie dans la cavité osseuse et élastique de l'os hyoïde, et c'est la résonnance qu'il y éprouve qui donne à la voix de ces singes le timbre spécial qui la caractérise. Si l'on en croit les récits de quelques voyageurs, les cris de ces animaux se font entendre à plus d'une demi-lieue ; ils sont véritablement effrayants et on les a comparés au bruit que déterminerait l'écroulement des montagnes. C'est surtout au lever et au coucher du soleil, ou bien à l'approche d'un orage, que les alouates poussent des hurlements : ils y ont quelquefois recours aussi pour éloigner leurs ennemis.

III. Les *carnassiers* présentent de grandes différences dans la conformation du larynx.

Dans le genre *canis*, l'épiglotte est triangulaire ; les cartilages cunéiformes sont saillants en dehors et présentent la forme d'un *S* italique ; les aryténoïdes sont effacés et fourchus ; les rubans vocaux bien tranchants, bien libres ; les ventricules profonds.

Dans le genre *felis* (lion, tigre, panthère, lynx, chat commun), les ligaments antérieurs de la glotte sont séparés de l'épiglotte par un sillon large et profond de chaque côté ; ils sont très épais. Les ligaments postérieurs ne sont ni libres ni tran-

(1) HUSCHKE, *Splanchnologie*, p. 225.
(2) *Loc. cit.*
(3) CUVIER, *Leçons d'anatomie comparée*, t. VIII, p. 780.

chants; on ne les distingue des antérieurs que par leur apparence plus ferme, leurs stries plus régulières. Le cartilage thyroïde est composé de deux ailes très obliques; les cornes antérieures sont remplacées par des cartilages particuliers.

Dans le blaireau, le larynx présente une conformation spéciale (1). Le ventricule, qui est très ouvert, s'ouvre dans deux poches qui s'étendent, l'une fort avant sous la racine de la langue; l'autre entre le thyroïde et le cricoïde.

IV. Dans l'ordre des *rongeurs*, il n'existe pas de différences moins grandes que parmi les divers carnassiers. Chez les uns, le *porc-épic* par exemple, il n'y a ni ligaments ni ventricules; chez les autres, le *paca* par exemple, les rubans vocaux sont très distincts. A la base de l'épiglotte existe une petite dépression où les deux sillons qui remplacent les ventricules semblent aboutir (2). Dans les lièvres et les lapins, on ne trouve pas de ligament vocal supérieur.

V. Dans les *proboscidiens*, chez l'éléphant par exemple, les cartilages aryténoïdes ne se touchent point par leur face interne qui est un peu concave. De leur partie inférieure part un ligament vocal très prononcé, bien tranchant, qui s'attache au cartilage thyroïde sous la base de l'épiglotte. Un sillon tient lieu de ventricule; vers la commissure des deux rubans vocaux est de chaque côté, en dehors, un petit repli vertical qui va gagner l'épiglotte.

Dans les solipèdes, le cartilage thyroïde est composé de deux ailes rhomboïdales obliques, à cornes peu saillantes; les aryténoïdes sont grands, recourbés en arrière à leur partie supérieure. L'extrémité inférieure fait une saillie en dedans du larynx et donne attache à un ruban vocal étroit situé profondément, et détaché tant à son bord supérieur qu'à l'inférieur. Le ligament supérieur est peu marqué; un trou percé dans la paroi latérale, au-dessus du ruban vocal, conduit dans un grand sinus oblong caché entre cette paroi et le cartilage thyroïde. Au-dessus de la commissure antérieure des deux rubans vocaux, et sous la base de l'épiglotte, est un trou impair qui conduit dans une cavité pratiquée sous la voûte qui forme le rebord antérieur du cartilage thyroïde.

VI. On ne trouve, en général, ni ligaments vocaux supérieurs, ni ventricules chez les *ruminants*.

Dans la gazelle commune et la corine, on voit à la base de l'épiglotte, un peu au-dessus de la commissure des rubans vocaux, un trou qui conduit dans un sinus membraneux caché entre l'épiglotte et le cartilage thyroïde. Camper (3) a trouvé dans le renne, entre les mêmes parties, un grand sac qui s'étend sous la gorge. Chez le lama, il existe des ventricules compris entre deux ordres de ligaments vocaux. Le larynx du bœuf est, comme on le sait, dépourvu de ventricules et de cordes vocales supérieures.

VII. Dans le *dauphin* et le *marsouin*, le larynx forme une pyramide qui s'élève pour pénétrer dans la partie postérieure des narines et s'y ouvrir par son extrémité seulement, laissant à chacun de ses côtés un passage pour les aliments. Cette disposition tout à fait exceptionnelle tient assurément à la manière dont les cétacés

(1) CUVIER, *loc. cit.*
(2) *Id., loc. cit.*
(3) *Id., loc. cit., t. VIII, p. 796.*

vivent. On conçoit, en effet, très bien que ces animaux avalant continuellement de l'eau, l'air extérieur qui pénètre par les fosses nasales n'aurait pu se frayer une voie à travers le larynx si cet organe en avait été toujours séparé par une couche de liquide. Il n'existe, d'ailleurs, ni glotte, ni cordes vocales ; les cétacés n'ont pas de voix proprement dite.

Chez le dugong, les deux moitiés latérales du cartilage thyroïde sont unies par du tissu fibreux, cellulaire et adipeux (1). Le cartilage cricoïde est largement ouvert chez les baleines (2).

Dans quelques cétacés vrais, on rencontre une glande laryngienne, située au dessous du cartilage thyroïde, dans l'intervalle que laisse l'arc du cartilage cricoïde. Ses conduits excréteurs s'ouvrent dans la cavité du larynx (3).

Voix des mammifères à glotte simple. — De la voix du bœuf en particulier.

En faisant connaître plus haut les dispositions principales de l'organe vocal des mammifères, nous avons constaté que plusieurs espèces ont un *larynx* dépourvu de ventricules et de cordes vocales supérieures. Tel est celui du bœuf.

Pour procéder du simple au composé, et aussi pour développer plus commodément, par la suite, nos idées sur le mécanisme de la voix humaine, il nous a paru convenable d'étudier d'abord celui de la voix chez les mammifères à glotte simple, et du *sifflement oral* chez l'homme.

Dans le bœuf, dont nous prendrons ici le larynx pour type, cet organe représente un simple tube, muni à sa partie inférieure d'une ouverture variable dans ses dimensions : c'est la *glotte*. Les parois de ce tube, formées par des muscles énergiques recouverts d'une membrane fibreuse et élastique, peuvent éprouver des changements de rigidité, et la masse d'air qu'elles renferment est elle-même soumise à des variations dans son volume : la partie supérieure de ce tuyau sonore peut être partiellement fermée par l'épiglotte.

Il devient facile d'expliquer, en nous appuyant sur les principes précédemment développés, comment le son est produit dans le larynx du bœuf, et très probablement dans celui des autres mammifères qui ne possèdent qu'une glotte simple.

L'air venu des poumons, s'échappant en partie par la glotte, éprouve dans son écoulement des variations périodiques qui déterminent, dans l'air du tuyau laryngien, des vibrations synchrones à celles qu'il éprouve dès sa sortie. La rigidité des parois du tuyau, leurs dimensions, et la fermeture variable due à l'épiglotte, permettent toujours au son du tuyau laryngien de s'accommoder à celui que le fluide produit en passant à travers la glotte vocale. Le nombre des vibrations ou la hauteur du son dépend de la pression de l'air ; son intensité, de la grandeur de l'orifice de sortie et de la variation de pression que l'air peut éprouver sans changer le ton. L'air, qui s'échappe par la glotte inter-aryténoïdienne, doit aussi éprouver des mouvements ondulatoires dont la périodicité est la même que celle des vibrations sonores, et il excite alors, dans les oreillettes des cartilages aryténoïdes, des oscillations qui, jointes à celles des parois du larynx et de l'épiglotte, contribuent sans doute à donner à la voix du bœuf un timbre particulier.

L'échelle des sons est très limitée chez le bœuf, parce qu'il y a peu de varia-

(1) OWEN, *Proceed. of the zool. Soc. of London*, part. VI, 1838, p. 37.
(2) SANDIFORT, *Bydragen tot de ontledkundige kennis der Waatwischen*. Amsterdam, 1811.
(3) RAPP, *Würtemberger naturwisch. Abhandl.*, V, et Cetaceen, p. 187.

tions dans les éléments du tube laryngien sus-glottique, qui consiste en un simple tube renforçant membraneux. S'il nous était permis de comparer l'organe vocal du bœuf à un appareil sonore artificiel, nous n'hésiterions pas à lui trouver une certaine analogie avec l'instrument formé par une simple tige d'oignon qu'on serre entre les lèvres à l'une de ses extrémités. Dans cette comparaison, nous ne faisons intervenir ni le tuyau respiratoire qui exerce nécessairement une grande influence sur la phonation, ni le changement de rigidité des parois.

J. Müller (1) a décrit des appareils à *anches membraneuses* qui n'ont pas la moindre ressemblance avec les organes vocaux des animaux; on peut voir, sur ses dessins, qu'il a construit des anches de hautbois ou de clarinette en caoutchouc, mais non pas des embouchures présentant la configuration de la glotte.

A l'aide de ses instruments artificiels, A. Masson semble avoir mieux imité la nature. Ce physicien prend des tubes en gomme élastique de 2 à 3 centimètres de longueur, et dont le diamètre varie comme celui des tuyaux qu'il veut faire résonner. Il pince ces embouchures au milieu et sur deux arêtes opposées, de manière à former une fente analogue à la glotte. Si l'on souffle dans ces appareils, on obtiendra difficilement des sons; mais, en y ajoutant des tubes en caoutchouc vulcanisé, on arrivera toujours, en modifiant convenablement l'ouverture, à faire parler le tuyau avec un faible courant d'air. Chaque tuyau additionnel produira généralement un seul son, et en changeant leurs longueurs, on parcourra une étendue de plusieurs octaves.

Les sons ainsi obtenus ont la plus grande ressemblance, pour le timbre, avec ceux des mammifères à glotte simple.

Ce nouveau moyen de produire des sons n'admet ni corde ni anche proprement dite; le son est dû uniquement à la sortie de l'air à travers une ouverture elliptique analogue à la glotte.

Si l'on substitue des tuyaux de verre aux tubes de gomme élastique, le son est plus pur, approche davantage des sons de flûte; mais il est toujours plus grave que le son propre du tuyau, ce qui paraît dû à une grande influence de l'embouchure membraneuse.

Sifflement oral de l'homme.

La faculté de siffler met l'homme en possession d'un registre particulier de sons, dont la source est dans l'air de la cavité buccale et dans l'air ambiant.

Dans le sifflement avec la bouche, le siége principal des vibrations sonores est à l'ouverture formée par les lèvres, ouverture que nous désignerons, avec Dodart, sous le nom de *glotte labiale*. La sortie de l'air par cet orifice étant évidemment la cause principale du son, il nous faut expliquer par quel mécanisme ce fluide gazeux peut éprouver un mouvement vibratoire. Dodart (2) a donné une *Théorie du sifflet* qu'on regrette de ne pas trouver dans les différents ouvrages qui ont cité ses travaux sur la voix. Ce physiologiste avait parfaitement compris toute l'importance d'une étude complète et comparée des glottes labiale et vocale, aussi bien que l'analogie de ces deux appareils. Toutefois, craignant qu'on ne l'accusât de s'occuper d'une question futile, il prend beaucoup de précautions oratoires avant de

(1) *Ouv. cit.*
(2) *Supplément au mémoire sur la voix et les tons.* Dans Mém. de l'Ac. des sc. de Paris, année 1707, *p. 66.*

décrire le sifflet, auquel il consacre un chapitre assez étendu qui d'ailleurs servira de base à notre étude sur ce sujet.

« La glotte labiale, dit Dodart, est moins importante et moins utile que la glotte vocale ; mais on va voir que, toute méprisée qu'elle est, elle ne laisse pas d'être, philosophiquement parlant, très digne de considération.

» L'entr'ouverture des lèvres, pour siffler, est précisément de la figure de la glotte dans la plupart de ceux qui savent s'aider de leurs lèvres pour cet usage. Le changement qui arrive dans les lèvres, pour former le sifflet, est de se froncer pour raccourcir leur ouverture naturelle et pour l'entr'ouvrir en avant. Cette ouverture est presque toujours, comme je l'ai dit, de la même figure que celle que j'ai attribuée à la glotte vocale quand elle est en action pour la voix. Voilà presque tout l'instrument ; et, en effet, cela seul, sans canal et sans autre étendue que celle de l'ouverture des lèvres, suffit pour le son et pour tous les tons du sifflet. »

Il est utile de faire observer, dès à présent, que Dodart ne tient aucun compte de la cavité située derrière l'orifice labial, et qui joue, comme nous le démontrerons plus loin, un rôle très important dans le sifflement.

Dodart revient plusieurs fois et insiste surtout (p. 68) sur l'analogie complète qui existe entre les usages de la glotte vocale et ceux de la glotte labiale.

« Dans le mémoire sur la voix humaine, j'ai dit, continue Dodart, que le petit diamètre de la glotte diminue à chacune de ses extrémités à chaque changement de ton et de parcelle de ton passant du bas en haut de l'échelle musicale ; or, après tout ce qui a été dit de la glotte labiale par comparaison à la glotte vocale, il est bien aisé de voir si celle-là a les mêmes usages que celle-ci, et si elle les remplit par le même mouvement. On ne peut douter des usages, puisque la seule ouverture des lèvres fait tous les tons et demi-tons, etc., entonne aussi juste à l'unisson que la voix, et suit sur le pied de la première note entonnée celles qui suivent haut et bas, avec la même justesse, par le mouvement d'éloignement ou d'approche des lèvres.

» Cela prouve visiblement tout ce que j'avais dit de la glotte vocale ; car, dans la glotte labiale, on n'a pas besoin de prouver par le raisonnement les degrés d'approche des lèvres, comme on est obligé de le faire à l'égard de la glotte vocale : il n'y a point à deviner ni à raisonner, on *voit*. »

Dodart (1) pense que la faculté de produire des sons de sifflet en aspirant ou en expirant l'air, l'ouverture restant constante, explique la possibilité de produire un sifflement continu, et il rejette l'influence que peut avoir la respiration nasale sur la vitesse de l'air appropriée à un ton donné. Nous ne partageons pas, sur ce point, l'opinion de l'auteur, et nous pensons qu'une partie de l'air, variable avec la pression nécessitée par les sons qu'on veut obtenir, entre et sort par les narines dont le conduit sert de trop-plein et rend constante la masse d'air expirée ; de telle sorte que la respiration est maintenue à l'état normal. On éprouve, en effet, beaucoup de fatigue en sifflant par aspiration et expiration d'une manière continue, quand on presse les ailes du nez de manière à le fermer complétement. Nous attachons de l'importance à ce double circuit dans lequel l'air peut se mouvoir pendant la production du son du sifflet, parce qu'il y aura lieu d'examiner plus tard si, dans les autres organes, qui dans les animaux servent à produire des sons, il n'y a pas une disposition analogue à celle qui existe dans l'appareil siffleur de l'homme.

(1) *Mém. cit.*, p. 72.

Théorie de Dodart. — « Le son est produit, dans le sifflet, par le passage de l'air lancé d'une certaine vitesse dans l'air dormant écarté par l'air lancé ; ce à quoi il faut joindre le frémissement que ce passage cause dans l'ouverture par où l'air est lancé et peut-être encore le frottement naturel de ces deux airs l'un par l'autre et l'un contre l'autre.

» La seule différence de vitesse de l'air sonnant dans l'air dormant, jointe aux différents intervalles de vibrations qui résultent des divers degrés de fermeté dans le ressort de l'instrument, c'est-à-dire dans la seule ouverture frémissante, sans aucun corps d'instrument, suffit pour produire tous les tons. »

Dans cette théorie, Dodart n'explique pas le mouvement vibratoire de l'air ; il considère la cavité buccale comme complétement inutile, et il semble ignorer le rôle des divers éléments qu'il fait intervenir dans le problème qu'il veut résoudre. Nous aurons à revenir sur les idées de Dodart à propos de la cause de la voix humaine qu'il regarde comme analogue au sifflement oral.

Après Dodart, quelques auteurs ont attribué le sifflement aux vibrations des lèvres qu'ils ont assimilées à des anches libres. Mais il est facile de s'assurer que, dans l'action de siffler, les lèvres n'éprouvent qu'un mouvement insensible et secondaire, et sont incapables de produire des sons par elles-mêmes. D'ailleurs, on peut remplacer l'ouverture labiale par des orifices percés dans des plaques solides, sans changer le phénomène, et c'est ce qui sera démontré dans la suite par des expériences. Il faut donc abandonner immédiatement cette fausse théorie.

Théorie de Cagniard-Latour (1). — Cette théorie a été généralement adoptée sans discussion par les physiologistes, quoiqu'elle renferme un principe, *les vibrations des colonnes d'air par frottement immédiat*, dont l'application n'a été faite à aucun instrument. Le nom de l'auteur et ses nombreux travaux justement estimés nous imposent l'obligation de l'examiner avec une scrupuleuse attention.

Cagniard-Latour a démontré d'abord, à l'aide d'une expérience très simple, que le son du sifflet n'est pas dû aux vibrations des lèvres, et cela en substituant à l'ouverture qu'elles forment un orifice circulaire de 5 millimètres de diamètre percé dans des plaques de liége d'épaisseurs diverses qu'on plaçait entre les lèvres, la face antérieure un peu en avant dans la bouche.

L'épaisseur des disques étant de 2 à 3 millimètres, on a des sons de sifflet très purs en soufflant de l'air à travers l'orifice ; tandis qu'on ne peut produire les mêmes effets avec des épaisseurs plus grandes ou plus petites (4 millimètres ou 1 millimètre.)

Avec une seule rondelle, celle de 3 millimètres, il est possible d'obtenir tous les sons compris dans une octave au moins, pourvu qu'on règle convenablement la cavité intérieure de la bouche et la vitesse d'écoulement de l'air.

Avec des rondelles évasées coniquement, on n'a de son qu'en présentant au souffle le côté non évasé. En variant les dimensions des divers éléments des rondelles, on en trouve qui produisent des sons seulement par inspiration, et d'autres par expiration. Quelquefois on obtient des sons d'une même rondelle, soit en aspirant l'air extérieur, soit en soufflant par l'orifice. On peut remplacer le souffle par un courant de gaz établi au moyen d'un gazomètre.

(1) *Mémoire sur le son qu'on produit en sifflant avec la bouche.* Dans Journal de physiol. *expérimentale*, t. X, p. 170.

Cagniard-Latour conclut de ces premières expériences que si les lèvres vibrent dans l'action de siffler, leurs vibrations ne sont pas une condition nécessaire pour que le son se manifeste.

Passant de ces conclusions aux hypothèses, il croit pouvoir déduire de ses observations une théorie du sifflet, qu'il résume dans les propositions suivantes (1) :

« 1° Selon toute apparence, le son ordinaire du sifflet vient de ce que l'air, en passant par le conduit formé par les lèvres contractées, subit un frottement intermittent propre à engendrer un son primitif qui acquiert de l'intensité, en communiquant ses vibrations à l'air contenu dans la bouche.

» 2° La bouche elle-même, la trachée-artère et les poumons peuvent avoir une certaine influence sur les vibrations du conduit siffleur.

» 3° Si les lèvres elles-mêmes ont une vibration, elle n'est pas une condition nécessaire pour que les sons du sifflet se produisent. »

Après avoir constaté que le son est produit, dans le sifflet, par le mouvement de l'air sortant par l'orifice que forment les lèvres, Cagniard-Latour ne paraît pas avoir reconnu quel est le véritable appareil renforçant et son influence, car il admet que c'est la cavité de la bouche qui renforce le son, et même qu'il en est ainsi de la trachée-artère et des poumons.

Ce physicien rejette toute assimilation entre l'appareil siffleur et l'appareil des oiseleurs, parce que, dit-il, dans ce dernier, les orifices sont percés dans des parois minces, tandis que, pour siffler, il faut un conduit d'une certaine longueur qui augmente d'autant plus le frottement qu'il est plus long, et modifie ainsi le nombre des vibrations.

Ce qui a été dit précédemment des appeaux nous dispense de toute discussion relative à la théorie que Cagniard-Latour donne de ces instruments dans lesquels il suppose que l'air intérieur, restant immobile et se comportant comme un solide, forme un canal dans lequel l'air insufflé éprouve, de la part des parties solides et gazeuses, un frottement qui le met en vibrations sonores.

Cette manière de voir, adoptée par J. Müller (2), nous semble contraire à tous les principes admis jusqu'ici relativement aux propriétés des fluides et nous allons essayer de le prouver.

Il faut de toute nécessité, pour qu'un corps devienne sonore, que ses molécules, dérangées de leurs positions d'équilibre par une force extérieure, puissent y revenir en oscillant, sous l'influence des attractions qu'elles éprouvent de la part des molécules voisines, ce qui suppose nécessairement, dans le corps vibrant, un certain degré de cohésion qui existe à peine dans les liquides, et qu'on ne saurait admettre dans les gaz.

Voulant démontrer que l'air peut, par le frottement, entrer en vibration à la manière des solides, Cagniard-Latour rappelle qu'on fait sonner une vitre en la frictionnant avec le pouce mouillé. Cette comparaison manque de justesse : le carreau frotté produit des harmoniques si l'on varie la vitesse et la place du frottement : ce n'est pas le pouce qui est le corps sonore, ce corps mou sert seulement d'archet.

Si l'on peut admettre que, dans quelques circonstances, le corps frottant et le corps frotté entrent en vibration, assurément il n'est pas permis de supposer que l'air, substance dépourvue de toute cohésion, jouisse de cette propriété. On ne pourrait même pas citer un exemple où l'air se comporte réellement comme un archet et

(1) *Mém. et rec. cit.*, p. 187.
(2) *Manuel de physiol.* Trad. franç., t. II, 230.

fasse vibrer les corps en les frottant. S'il en était ainsi, les molécules des gaz devraient opposer à tout déplacement une certaine résistance nécessaire pour qu'il y eût mouvement des molécules dans le corps frotté. Or, tous les faits sont contraires à cette idée de la cohésion dans les fluides élastiques. Enfin, si un gaz pouvait entrer en vibration par le frottement des corps solides, on devrait, en faisant tourner rapidement dans l'air un plateau circulaire et mince, obtenir des sons qui dépendraient de la vitesse du disque et faire sonner ce fluide comme on fait vibrer un corps solide qui presse les faces de l'appareil tournant : jamais on n'a observé une pareille production de son.

Si la théorie que nous examinons était exacte, elle servirait à expliquer les vibrations produites dans des circonstances identiques et ne serait pas seulement vraie pour le sifflet. Les bruits ou sons, résultant de l'expansion des gaz, devraient être attribués au frottement de l'air contre les parois des conduits, et le bruit d'un canon résulterait du frottement de l'air contre la bouche à feu.

Dans la *sirène* elle-même, le son aurait pour cause la friction que l'air éprouve de la part des bords des orifices de sortie. Il en serait encore de même pour les sons obtenus à l'aide des liquides dans ce même instrument. Nous ne croyons pas que les physiciens aient jamais adopté cette explication que Cagniard-Latour, forcé par sa théorie du sifflet, semble néanmoins ne pas rejeter, puisqu'il dit (p. 174) : « J'ai présumé qu'une des conditions nécessaires pour obtenir cet effet sonore (le sifflet), c'est-à-dire pour que les intermittences du frottement eussent le temps de s'établir, et qu'ainsi les bruits du frottement devinssent périodiques et *sonores comme les bruits de la sirène*, j'ai présumé, dis-je, qu'une des conditions était que le conduit eût une certaine longueur par rapport à son diamètre. »

Ces idées nous semblent peu d'accord avec les expériences mêmes de l'auteur ; car il a trouvé que des rondelles de liége, de 1 et de 4 millimètres d'épaisseur, ne produisaient pas de son, tandis que celles de 3 millimètres pouvaient résonner. Il aurait fallu tenir compte davantage des dimensions de l'appareil renforçant qui exerce une grande influence sur les épaisseurs des disques nécessaires à la production d'un son, ainsi que A. Masson l'a constaté dans ses expériences sur l'écoulement des gaz, expériences dont les principaux résultats ont été relatés précédemment.

Théorie de A. Masson. — L'appareil du sifflet ordinaire, chez l'homme, est un véritable appeau dans lequel le son est originairement produit, par inspiration ou par expiration, à l'orifice antérieur formé par les lèvres, et que, à l'exemple de Dodart, nous désignons sous le nom de *glotte labiale*. L'écoulement périodiquement variable de l'air, qui sort par cette ouverture, imprime à l'air extérieur des pulsations ou vibrations entièrement analogues à celles que la sirène y détermine en interrompant périodiquement la sortie de l'air qui s'écoule de son réservoir ou tambour. Dans le cas où un gaz s'écoule d'une manière continue, le mouvement oscillatoire de l'air extérieur n'est pas occasionné, comme dans la sirène, par des intermittences complètes d'écoulement, mais seulement par des variations régulières et périodiques de la quantité d'air expulsé par l'orifice de sortie ; d'où résultent, dans le milieu extérieur, des pressions périodiquement variables, et par conséquent un son qui serait très faible et souvent même insensible sans un appareil renforçant qui participe lui-même à ce mouvement oscillatoire, et vibre à l'unisson du son produit à l'embouchure. Dans le sifflet, le tuyau renforçant est *formé par une cavité comprise* entre les lèvres et la langue, dont la pointe vient se

placer contre les dents de la mâchoire inférieure. L'orifice postérieur de cette espèce d'appeau est le canal compris entre la langue et le palais, et plus souvent l'espace compris entre la langue et les dents de la mâchoire supérieure.

Cette cavité à parois membraneuses est susceptible de donner des sons plus graves qu'un appareil de mêmes forme et dimensions à parois rigides. Le son du tuyau siffleur de l'homme paraît toujours vibrer à l'unisson du son produit à l'orifice pour les limites de pression de l'air qu'il peut atteindre.

Beaucoup d'individus acquièrent une singulière aptitude à approprier la grandeur de la glotte labiale et les dimensions de la cavité buccale au son qu'ils veulent produire, de manière à entonner avec une extrême rapidité tous les tons possibles dans l'étendue d'une octave au moins.

La hauteur du ton dépend de la pression qui est plus grande pour les sons aigus que pour les sons graves, et l'intensité résulte de la quantité d'air insufflé et de sa pression comprise pour un même son dans des limites plus ou moins étendues.

Avec une ouverture déterminée et invariable, on peut, en modifiant convenablement la pression de l'air et la grandeur du tuyau renforçant, obtenir plusieurs sons. On modifie facilement les dimensions de l'appareil siffleur par un mouvement de langue en avant ou en arrière.

La grandeur des orifices, la capacité du tuyau buccal, la tension de ses parois et la pression de l'air sont réglées instantanément par le siffleur, et avec une précision remarquable, dont le sentiment est le seul guide, de manière à engendrer tous les tons et fractions de tons possibles.

L'homme possède donc, pour siffler, un appareil dont la perfection n'existe dans aucun des instruments de musique artificiels.

Les sons étant produits avec la même facilité par inspiration ou par expiration, il semble qu'on devrait, sans être gêné, pouvoir siffler d'une manière continue. Cependant, quand on expérimente en bouchant le nez, on éprouve une certaine difficulté dans la respiration. Il est nécessaire que les narines laissent entrer ou sortir une certaine portion d'air variable avec la pression exigée par la production des sons. Le nez sert donc, en quelque sorte, de tube de sûreté ou de régulateur d'écoulement, de manière à laisser constante la quantité de gaz exigée pour une respiration normale.

La théorie précédente trouve en partie son explication dans les expériences de A. Masson sur l'écoulement des gaz et sa confirmation dans les faits suivants :

Ce physicien a pris des disques métalliques, percés de trous cylindriques, à arêtes vives. Leurs épaisseurs ont varié de 2 à 5 millimètres, et les diamètres des ouvertures centrales ont été compris entre 2 et 7 millimètres. En appliquant les lèvres contre ces disques, de manière à remplacer la glotte labiale par une ouverture fixe et solide, l'expérimentateur a pu produire, avec chaque disque, par inspiration ou expiration, des séries de sons très étendues en modifiant convenablement, et pour chaque son, la pression de l'air et la cavité buccale, exactement comme dans le sifflet.

Les séries de tons sont d'autant plus graves que les diamètres des orifices sont plus grands.

Ces appareils permettent une modulation aussi juste et aussi rapide que celle qu'on détermine à l'aide de la glotte labiale.

En ajustant des tuyaux de verre à des plaques minces de métal, bois ou ivoire, et percées à leurs centres d'un orifice circulaire, on obtient, en soufflant dans le

tube par l'ouverture opposée au disque, des sons de sifflet très purs, lorsque la capacité du tuyau renforçant est dans un certain rapport avec les dimensions de l'orifice de la plaque et la pression de l'air qu'on peut obtenir. On ne réussit pas à faire entrer en vibration toute espèce de tuyaux avec une même plaque. Le tuyau parle en aspirant ou en expirant l'air.

Tous ces faits sont la conséquence des expériences du même auteur sur l'écoulement des gaz, et par conséquent faciles à expliquer.

Lorsque les disques sont concaves, les phénomènes d'écoulement sont modifiés; et tel disque, qui produit un son quand on le place dans la bouche, lui ou son tube additionnel et qu'on souffle du côté concave, n'en donne plus quand on pousse l'air du côté convexe, ou qu'on aspire l'air par cette face; pour d'autres disques, c'est l'inverse. Il n'y a rien dans ces faits qui doive surprendre : ils prouvent que les vitesses d'écoulement ou les phénomènes de mouvement de l'air sont plus ou moins modifiés par la forme des plaques; c'est là un point que A. Masson traitera dans un prochain mémoire.

Lorsqu'un disque est adapté à un tube, et qu'on a placé la plaque dans la bouche, de telle sorte qu'elle se trouve entre la cavité buccale ou l'appeau siffleur et le tube, on parvient à mettre le premier très facilement et très rapidement à l'unisson du second, ce qui permet d'obtenir ou des sons de l'appeau seul, ou des sons de l'appeau et du tube, et quelquefois des sons de l'un et de l'autre en même temps. Par ce procédé, on peut faire produire à la colonne d'air des tuyaux plusieurs de ses harmoniques, soit en aspirant, soit en poussant l'air dans le tube avec la bouche; tandis qu'en bien soufflant dans le tube directement par l'ouverture opposée au disque on n'obtient qu'un son.

La nature de l'orifice et sa forme sont sans influence sur la cause qui engendre le son. A. Masson a construit des sifflets avec des lames rectangulaires de gomme élastique, qu'il a roulées sur elles-mêmes de manière à former un bourrelet cylindrique de 1 à 2 millimètres de diamètre à une extrémité; puis, après avoir coupé longitudinalement le caoutchouc suivant une ligne perpendiculaire au bourrelet, il a soudé les bords pour former un tube ouvert aux deux bouts, et dont un orifice, circulaire et formé par le bourrelet, présente l'aspect d'un sphincter, et imite la glotte labiale lorsqu'on souffle.

Avec ces tubes on n'obtient pas toujours un son; il est nécessaire de régler la longueur du tube pour lui faire rendre l'unisson d'un son que l'orifice peut produire dans les limites de la pression exercée par l'air expiré. Il est possible, avec ces tubes siffleurs, d'avoir des sons par aspiration et par expiration : ce sont des appeaux dont un orifice a le diamètre du tube. Masson possède une série de ces appareils dans différents tons. Avec chacun d'eux on n'obtient qu'un son, parce que leurs harmoniques très aigus exigeraient, pour leur production, une pression beaucoup plus forte.

L'appareil siffleur de l'homme est très exactement représenté par les tubes siffleurs qui viennent d'être mentionnés.

Il résulte des faits précédemment énoncés, que l'instrument siffleur de l'homme est assimilable à un appeau, dans lequel les orifices, la cavité, la tension des parois et la pression de l'air peuvent instantanément varier à la volonté de l'individu, et donner lieu à une série de sons très étendus par le seul mouvement oscillatoire qu'éprouve l'air sortant, en quantité périodiquement variable, par l'orifice antérieur *ou glotte labiale*. La cause du son est donc, dans ce cas, la même que dans tous

les instruments à vent artificiels. Sa hauteur est due à la pression de l'air et son intensité à la masse de fluide qui s'écoule. Les sons deviennent d'autant plus aigus que l'orifice est plus petit, à cause de l'accroissement de pression qui est la conséquence du rétrécissement de l'ouverture. Il ne faut pas oublier que le son, obtenu pour un orifice d'une certaine dimension et une pression d'air convenable, reste le même quand on augmente la pression de l'air jusqu'à une certaine limite et que, dans ce cas, l'intensité du son augmente avec la force élastique du gaz.

Masson a observé que l'étendue de son, dans le sifflet, comprend plus de deux octaves. Deux expériences ont donné :

Vibrations.	Sons.	Vibrations.	Sons.
1280	mi_4	1316	fa^b_4
6400	$sol\#_6$	8533	$ut\#_7$

Les différents moyens, employés par l'homme pour siffler, s'expliquent également dans la théorie qui vient d'être exposée. Nous en dirons quelques mots.

a. On peut siffler, en formant une ouverture très étroite avec les dents plus ou moins serrées les unes contre les autres; la langue ferme la cavité buccale en s'appuyant, d'une part, contre le palais, et, de l'autre, contre les dents inférieures.

b. Plusieurs personnes produisent facilement des sons de sifflet très aigus et très intenses, à l'aide du procédé suivant : elles superposent les doigts index et médius de chaque main ; puis elles mettent en contact les extrémités des médius de manière à former un V, dont la pointe appliquée sur la langue replie cet organe jusqu'au fond de la bouche. Cet instrument est serré entre les lèvres et l'on souffle fortement. Alors on a une sorte d'appeau dont le tuyau est la capacité comprise entre les doigts placés dans la bouche et l'embouchure sifflante, c'est-à-dire l'ouverture que laissent les lèvres serrées l'une contre l'autre.

c. On juxta-pose les mains pour former un tuyau bouché par le bas; à la partie supérieure, les pouces, placés parallèlement, laissent entre eux une fente qu'on ferme en partie en appuyant les lèvres sur l'une des moitiés. En soufflant dans la cavité, on obtient des sons d'une grande pureté et beaucoup plus graves que dans le sifflet. En variant la cavité, on fait rendre plusieurs sons à l'appareil.

d. On plie tous les doigts de la main droite, par exemple, et cela forme une cavité ouverte vers le pouce, contre lequel on applique les lèvres; en soufflant fortement et dans la direction parallèle au pouce, on obtient des sons d'une intensité extraordinaire.

Dans ces deux derniers appareils, l'orifice de sortie est situé à côté de l'ouverture d'admission de l'air.

e. Dodart (1) cite un moyen de siffler, que nous n'avons pu jusqu'à présent reproduire, en appliquant la pointe de la langue contre le palais. L'ouverture sifflante est appelée par lui *glotte linguale*.

La théorie est ici la même que celle du sifflet ordinaire.

Voix de l'homme.

Physiciens et physiologistes ont proposé bien des théories différentes sur la voix de l'homme. Nous croyons devoir exposer et discuter au moins les principales, avant de faire connaître celle que nous regardons comme la plus rationnelle de toutes

(1) *Mém. et rec. cit.*

Théorie de Dodart. — Quand on prend connaissance des diverses appréciations qu'on a données des travaux de Dodart sur la voix humaine, on ne saurait se défendre d'une certaine surprise en voyant que les idées les plus opposées, les plus disparates, sont attribuées à cet auteur. Mais la surprise cessera bientôt pour ceux qui voudront lire et méditer ses mémoires avec une scrupuleuse attention, car ils y trouveront les germes des diverses théories qui ont été proposées. Toutefois, finalement, on constate que Dodart, n'ayant jamais pu se mettre d'accord avec lui-même, est arrivé de contradictions en contradictions à la théorie des cordes vocales, ordinairement attribuée à Ferrein.

Désirant nous débarrasser, tout d'abord, des théories nuisibles aux progrès de la question qui nous occupe, on nous pardonnera les détails dans lesquels nous allons entrer, quelque défavorables qu'ils soient à des opinions généralement accréditées.

Dodart a publié, sur la voix humaine et le sifflet naturel, plusieurs mémoires, dont il résume ainsi les principes (1) :

« 1° S'il est vrai, comme on n'en peut douter, que la glotte soit le principal organe de la voix, elle en est l'organe unique et l'âpre-artère n'y peut avoir aucune part formelle.

» 2° Si l'âpre-artère n'a pas, à l'égard de la glotte, l'usage du corps d'une flûte à l'égard de sa languette, la bouche doit avoir, à l'égard de la glotte, l'usage du corps d'un autre instrument à vent d'une espèce inconnue en musique.

» 3° La bouche et les narines n'ont nulle part à la production de la voix, mais contribuent beaucoup au son de la voix, c'est-à-dire à sa force et à son agrément.

» 4° La bouche ne fait rien à la production des tons, mais il est évident qu'elle les favorise en s'y proportionnant.

» 5° Les proportions de la concavité de la bouche avec les tons sont très probablement des proportions harmoniques.

» 6° L'usage de la bouche, en ceci, n'a nul rapport à celui des corps de flûte ni du hautbois, ni à celui du corps des jeux d'orgue à bisçau.

» 7° Il n'a nul rapport à l'usage de la plupart des tuyaux des jeux d'anche de l'orgue, hors ceux d'un seul de ces jeux et seulement pour le corps du tuyau et non pour l'anche.

» 8° La glotte seule fait la voix et tous ses tons.

» 9° *La glotte n'est pas une anche.*

» 10° Son usage ne peut être expliqué par celui de l'anche du hautbois et beaucoup moins par les anches de l'orgue, ni par aucun instrument à vent qui soit en usage pour la musique. »

Comme preuves des assertions précédentes, Dodart les fait suivre de principes d'acoustique qu'il énonce en ces termes :

« La voix est un son, et tout son est l'effet d'un air battu violemment. La matière de la voix est l'air contenu dans les poumons, poussé de bas en haut et de dedans en dehors. — Le résonnement de quelque son que ce soit, et, par conséquent, celui de la voix suppose la voix déjà formée, et n'est que la suite du son. Les corps résonnants, qui sont visibles, sont ceux qui, étant frappés par l'air porteur du son, sont capables de réflexion et de ressort, et par conséquent de vibrations. — Les corps sonnants et résonnants visibles sonnent et résonnent suivant leur dimension en longueur. C'est cette dimension qui leur donne le ton. — [illegible]

(1) *Sur les causes de la voix de l'homme et de ses différents tons,* *Des sciences de Paris,* année 1700, p. 246 et suiv.

résonnent particulièrement selon l'égalité ou les proportions harmoniques de leurs dimensions, c'est-à-dire de leur ton, avec le son auxquels ils répondent, et ils y répondent plus ou moins, selon le degré de cette proportion, depuis l'unisson et les proportions harmoniques les plus proches jusques aux proportions harmoniques les plus éloignées. »

De cet exposé, il est permis de conclure que Dodart admet que tout son a pour cause un choc ou une impulsion initiale, imprimé à un corps quelconque, mais qu'en général un son ne reçoit le ton qui le caractérise que des vibrations d'un corps résonnant qu'il rencontre dans son mouvement de propagation. Un son produit dans un corps solide peut, en s'y propageant, acquérir un certain ton dépendant de la longueur de ce corps qui est alors sonnant et résonnant.

Pour bien préciser la pensée de Dodart, qui, malgré son obscurité, sert de base à toute sa théorie, nous citerons avec lui l'exemple suivant (1) :

« Il est certain que l'anche du hautbois a part non au ton de cet instrument, qui vient tout entier de la longueur précise du hautbois, mais seulement au son, puisque, sans anche, il ne parlerait pas. C'est donc l'anche qui lui donne le son, mais point du tout le ton, puisque l'instrument ne parle qu'au ton de sa propre longueur et point du tout au ton de la longueur et profondeur de son anche, car le ton de l'anche est infiniment éloigné de celui de l'instrument. »

On pourrait, en interprétant convenablement les paroles de Dodart, les rendre parfaitement conformes aux idées généralement admises aujourd'hui sur les vibrations des corps ; mais nous le mettrions en contradiction avec lui-même dans la suite de son travail.

Maintenant résumons la théorie de cet auteur sur la voix, telle que nous l'avons comprise et telle qu'elle nous a paru résulter des principes précédents :

1° Le son de la voix est produit par le choc de l'air, lancé à travers la glotte, sur l'air dormant extérieur.

2° Le ton de la voix a pour cause les vibrations des lèvres de la glotte, vibrations dont le nombre dépend non pas de leur dimension, mais de leur tension et de la vitesse de l'air sortant.

3° L'intensité des sons de la voix résulte de la quantité d'air qui s'échappe par la glotte, et par conséquent de la grandeur de son ouverture.

Telle est, suivant nous, l'opinion vraie de Dodart sur la voix, et cette opinion n'est pas celle qu'on lui attribue généralement.

Par de nouvelles citations empruntées à ses mémoires, il nous sera facile de prouver qu'en effet nous avons saisi sa pensée, qui consiste à faire de l'organe vocal un instrument à anches et à cordes, ce qui comprend les deux théories proposées par les divers auteurs, et nous explique la divergence de leurs critiques sur Dodart :

» Le canal extérieur (la bouche et les narines) ne fait rien au ton, dit cet observateur, et tous les tons viennent de la seule anche de l'homme, c'est-à-dire de la glotte.

» La seule ouverture de la glotte fait tous les tons ; on la compare ordinairement à l'anche du hautbois, et l'on a raison si l'on ne considère que l'ouverture de l'une et de l'autre. Mais, comme l'effet de l'anche du hautbois vient au moins autant de son ouverture que de sa profondeur, cette comparaison n'expliquera jamais l'usage de la glotte (2). »

(1) *Loc. cit.*
(2) *P.* 256. *Rec.* et *l. cit.*

D'ailleurs, comme nous l'avons dit, d'après Dodart, l'anche du hautbois ne donne pas le ton.

« On ne peut expliquer (1) les usages de la glotte par la seule dimension des vibrations de ses lèvres. Car elles ont trop d'épaisseur, dans une si petite étendue, pour être capables de vibrations proportionnées au grand effet de cette ouverture, puisque ces vibrations, jointes à certaines ouvertures, peuvent correspondre au ton d'un tuyau de 8 pieds de long.

» On ne peut comparer la cause qui met en branle les lèvres de la glotte qu'à celle qui fait résonner cette espèce d'instrument qui résulte de l'effet d'un vent impétueux donnant dans le papier entr'ouvert qui joint un châssis mal collé avec la baie d'une fenêtre. J'appellerai cet instrument *châssis bruyant* (2).

» Dans cet appareil, tous les tons sont produits par le seul mouvement d'un vent violent et par les seuls degrés d'une vitesse inégale, la moindre produisant les tons de basse les plus bas, et la plus grande ceux de dessus les plus hauts, et tout cela par une seule ouverture et par ses différentes vibrations. »

Il est clair, pour tout le monde, que cette théorie est celle des anches membraneuses de J. Müller. Mais il faut faire observer que, suivant Dodart, les vibrations de la lame de papier ne produisent pas le son, et que celle-ci vibre seulement pour donner le ton en modifiant les vibrations du son initial. Les vibrations de la lame de papier ne sont pas déterminées par la nature de ses dimensions : elles dépendent de la vitesse de l'air.

C'est toujours cette distinction du son et du ton déterminés l'un et l'autre par des causes différentes, qui change entièrement la signification des théories données par Dodart, quoiqu'elles paraissent exposées de la même manière que dans les ouvrages postérieurs aux siens. Nous avons dit, en effet, avec J. Müller, que dans les anches membraneuses les vibrations étaient modifiées par la vitesse de l'air.

Cette théorie du châssis bruyant, qui fait la base de la théorie de la voix, revient souvent, et toujours avec les mêmes expressions, dans les ouvrages de Dodart. Cet auteur établit, entre le châssis bruyant et la glotte, les différences suivantes qui serviront à mettre son opinion en toute évidence.

Après avoir déclaré que *la glotte n'est pas une anche*, il dit, p. 258 : « Il ne peut y avoir de vibrations dans la glotte, qui est une espèce singulière d'anche, que celles des lèvres. Ces vibrations sont causées par le frôlement de l'air qui s'échappe avec violence entre ces lèvres, et ces vibrations doivent être diversifiées par les différents degrés d'approche ou d'éloignement mutuel de ces lèvres diversement bandées ou contrebandées pour cet effet.

« On ne voit que la seule ouverture de la glotte (p. 259) jointe aux vibrations des lèvres plus ou moins pressées à proportion qu'elles sont plus ou moins bandées, qui puisse produire les tons de la voix. Il existe entre le châssis bruyant et la glotte ces différences : 1° L'ouverture du premier étant constante, l'intensité du son croît nécessairement avec le ton, puisque la quantité d'air qui passe par l'ouverture constante augmente avec la vitesse. Cela n'existe pas dans la voix humaine, dont les tons peuvent rester les mêmes en augmentant d'intensité, parce que la glotte est capable de s'ouvrir et de se refermer pour un même ton, et la poitrine

(1) P. 257. *Ibid.*
(2) P. 258. *Rec.* et *l. cit.*

capable de pousser l'air avec plusieurs degrés de force. Ainsi, on doit présumer que les différents degrés d'ouverture des lèvres de la glotte produisent les différents tons et voici comment :

« La glotte n'est capable que d'une seule modification : cette modification est l'approchement ou l'éloignement mutuel de ses lèvres ; ce doit donc être par là qu'elle produit les différents tons de la voix. Cette modification comprend deux circonstances : l'une capitale et première pour la production de la voix, l'autre qui n'est qu'une conséquence nécessaire et si infaillible que la première ne peut être sans la seconde. La première est que les lèvres, depuis le plus bas ton jusqu'au plus haut, se bandent de plus en plus ; la seconde, que plus elles se bandent, plus elles s'approchent.

» Il s'ensuit de la première que leurs vibrations sont d'autant plus fréquentes qu'elles approchent de leur ton le plus haut, et que la voix sera juste quand les deux lèvres seront également bandées, et fausse quand elles le seront inégalement ; ce *qui s'accorde parfaitement avec la nature des instruments à cordes.* Il s'ensuit de la seconde que plus elles hausseront le ton, plus elles s'approcheront, ce qui s'accorde parfaitement *avec les instruments à vent gouvernés par des anches. Les degrés de contention dans les lèvres sont la première et principale cause des tons.* »

On ne comprend pas, en lisant ce passage, que des physiologistes aient avancé que Dodart ne faisait jouer aucun rôle aux cordes vocales dans la phonation.

Je ferai remarquer, de nouveau, que Dodart assimile l'organe de la voix à un instrument à corde et à anche, et qu'il est en contradiction manifeste avec ce qu'il a avancé plus haut, en rendant solidaires l'ouverture de la glotte et la tension de ses lèvres, puisqu'il ne peut changer l'intensité d'un son sans altérer sa hauteur, c'est-à-dire modifier l'ouverture de la glotte sans troubler la tension des lèvres. Par une nouvelle contradiction (p. 264), il regarde comme certain que les différentes ouvertures de la glotte produisent ou au moins accompagnent inséparablement différents tons, que la diminution de l'ouverture hausse le ton de la *glotte* et des *anches*, et que l'augmentation de cette ouverture baisse le ton. Il cite, à ce sujet, les divers sons produits par une simple embouchure de hautbois dont l'ouverture varie.

Ne pouvant expliquer les variations d'intensité d'un même son en admettant ce qu'il désirait vivement, que la seule ouverture de la glotte produit les sons et leurs tons comme dans l'anche du hautbois, Dodart fait intervenir les vibrations des lèvres de la glotte ; et ces deux causes pour un même effet ont jeté notre auteur dans des impossibilités et des contradictions desquelles il ne peut sortir.

« La seconde merveille de la glotte, dit Dodart (1), qui fait la troisième différence avec le châssis bruyant, est d'avoir été rendue capable non seulement de produire tous les tons de l'étendue de la voix, mais encore tous les degrés de fort et de faible dans chacun de ses tons, et cela par le même expédient de rendre la glotte capable de s'étrécir et de se dilater, et voici comment : le son dépend de la vitesse ; le ton, du degré de la vitesse de l'air s'échappant par la glotte, et de l'*intervalle de ses vibrations ;* la force, de la quantité de l'air augmentée ; la faiblesse, de la quantité de l'air diminuée.

» Comment donc peut-on conserver le même ton et augmenter la quantité de l'air ? Car une plus grande quantité d'air passant par la même ouverture doit passer plus vite, et par conséquent augmenter le ton. Or, nous supposons que le ton

(1) P. 265.

est toujours le même, que le son soit plus fort ou qu'il soit plus faible. C'est que la glotte se dilate pour laisser échapper plus d'air et se ressorre pour en laisser échapper moins, et se dilate précisément autant qu'il faut pour passer du fort au faible sans changer le ton. Car il est absolument indifférent, pour la vitesse de l'air, ou que plus d'air se présente à la glotte dilatée autant qu'il faut pour laisser passer cette quantité d'air de la même vitesse qu'auparavant passant du faible au fort, ou de la serrer précisément autant qu'il faut pour conserver le même degré de vitesse à une moindre quantité d'air passant du fort au faible. »

Tout en comparant, dans ce passage, l'organe vocal au châssis bruyant, Dodart abandonne l'influence des vibrations des lèvres de la glotte, et semble admettre que, dans la voix, le son est produit par la sortie de l'air à travers la glotte : le ton est occasionné par sa vitesse, et par conséquent sa pression à la sortie, et l'intensité pour chaque ton dépend de la quantité d'air, et conséquemment de l'ouverture de la glotte.

Dans cette autre voie, Dodart rencontre de nouvelles difficultés ; il ne peut combiner le ton et l'intensité. Sacrifiant alors ce dernier élément, il arrive à cette solution définitive par la comparaison de la glotte et de l'anche du hautbois :

« Le son est produit par la sortie de l'air à travers la glotte.

« Le ton est le résultat du degré de vitesse de l'air déterminé par le rétrécissement ou la dilatation de la glotte occasionnée par la contention des lèvres de cet orifice, qui vibrent à l'unisson du son produit par l'air et sous son influence. »

Cette dernière théorie est nettement exposée plus loin (1) :

« La difficulté est de savoir si j'avais eu raison de dire que la seule ouverture de la glotte fait le son, et, par sa dilatation et son rétrécissement, les tons de la voix. Un savant homme de mes amis n'en convient pas. Il ajoute à l'ouverture de la glotte les vibrations de ses lèvres... »

Comme s'il craignait d'être trop précis et trop clair, Dodart ajoute :

« Nous convenons pour ces deux causes, qui dans le fond n'en font qu'une. »

L'explication et la figure qu'on trouve dans la note de laquelle est extrait le passage précédent nous confirment dans le résumé que nous avons donné relativement à la dernière opinion de Dodart. Celle-ci a été admise par Ferrein, dans le mémoire duquel se trouve une réfutation très complète de la théorie de Dodart. Il avance, en effet, que si les tons ne dépendaient que de l'ouverture de la glotte, et par conséquent de la vitesse de l'air, on ne pourrait pas faire varier l'intensité et le ton par la même cause ; car il serait impossible de faire varier la quantité d'air sortant, sans changer l'ouverture de la glotte, par suite la vitesse de l'air et le ton.

Ainsi cette dernière théorie de Dodart est inadmissible. Voyons la première, qu'il a nettement exprimée dans son mémoire sur l'organe du sifflet humain (2), qu'il compare à l'organe vocal. Le son, sa hauteur, son intensité, sont le résultat de la sortie de l'air par la glotte vocale ou labiale, de sa pression ou vitesse, de sa quantité.

Cette manière d'envisager la production du son ne nous paraît pas plus admissible que la première par les raisons suivantes :

1° Si la pression de l'air suffit pour produire tous les tons, l'ouverture de la glotte, contrairement à l'opinion de Dodart, n'exerce une influence marquée que sur l'intensité, et l'on pourra produire des sons divers, mais d'intensités différentes, avec une même ouverture de glotte, l'intensité dépendant uniquement des

(1) *Mém.* et *rec. cit.*, p. 284.
(2) *Loc. cit.*

efforts de poitrine. Il en résultera dès lors que les lèvres de la glotte pourront être tendues et détendues pour un même son, et que leur tension n'aura aucune influence sur le son et en restera indépendante. Un son grave pourra être produit par une petite et une grande ouverture de la glotte. Ces conséquences de la théorie de Dodart étant contraires aux faits observés et admis par ce physiologiste, entraînent forcément le rejet de son opinion.

Nous ajouterons encore que la respiration serait impossible dans l'une ou l'autre théorie de cet auteur.

Pour les sons peu intenses et exigeant peu d'air, il faudrait régler la respiration et la retenir, tandis qu'on serait bientôt hors d'haleine pour les tons aigus et intenses ; le poumon serait seul le régulateur des sons et devrait nécessairement être lié par quelques conditions aux mouvements de la glotte, puisque les actions de l'un seraient solidaires des actions de l'autre.

Après avoir admis et confondu successivement tous les principes des théories possibles de la voix, Dodart, égaré dans un dédale de contradictions, avoue ainsi son impuissance de résoudre complétement le problème :

« Après tout ce qui a été dit, il resterait encore à rendre raison : 1° de la force de la voix humaine, qui semble être au-dessus de toutes proportions, comparée avec les dimensions de son canal et de son anche ; 2° de ses tons qui semblent n'être pas suffisamment expliqués par l'ouverture de la glotte et par les *vibrations de ses lèvres* (page 190). »

Ainsi presque tout reste à expliquer. Aussi Dodart ajoute-t-il dans une note page 292 : « Je reviens donc à dire, comme dans le mémoire, que la complication de l'ouverture de la glotte et du ressort des lèvres bandées peut rendre les tons indépendants et de la profondeur du canal et de la longueur des cordes ; car le seul brisement de l'air suffit pour le son, et l'air, mû de vitesse dans l'air, le peut briser suffisamment pour produire un son, et assez différemment pour produire les tons.

» Savoir comment tout cela fait une sensation, c'est moins une question qu'une espèce de mystère physique qu'on démontrera inconcevable en nature : cela me suffit. »

Enfin, et cela pourra paraître étrange, Dodart, après avoir examiné (page 291) la possibilité d'obtenir des sons graves avec des cordes très courtes, mais d'une certaine nature, revient à son instrument de prédilection, le châssis bruyant, et termine par la théorie des anches telle qu'elle est admise par J. Müller.

« Il est dit, dans le mémoire, que le châssis bruyant est ce qui ressemble le mieux à l'organe de la voix. Il faut donc que, dans l'instrument de la voix de l'homme, *les vibrations des lèvres de la glotte donnent le son*, comme l'anche le donne au corps du hautbois, et que les quantités et les vitesses de l'air mû à travers la glotte donnent les tons et dominent les frémissements de la glotte, comme les dimensions du hautbois dominent les frémissements de son anche et forment les tons de l'instrument. »

Théorie de Ferrein. — Cet auteur a résumé, en termes très précis, une théorie assez semblable à celle que Dodart adopte à la fin de son mémoire :

« J'ai cru trouver, dit Ferrein (1), dans les lèvres de la glotte des cordes capa-

(1) *De la formation de la voix de l'homme.* Dans *Mém. de l'Acad. des sc. de Paris*, p. 116. année 1741.

bles de trembler et de sonner comme celles d'une viole ; j'ai regardé l'air comme l'archet qui les met en jeu, l'effort de la poitrine et des poumons comme la main qui fait promener l'archet, et je me suis servi de ce principe pour expliquer la force de la voix, la diversité de ses tons, et beaucoup d'autres phénomènes dont la cause avait paru jusqu'à présent se dérober à nos connaissances. »

Frappé de la difficulté d'expliquer l'intensité de la voix humaine par les seules vibrations des lèvres de la glotte, Ferrein a cru compléter sa théorie en disant que l'organe vocal est *un instrument à corde et à vent.*

On ne peut voir qu'une subtilité dans cette définition de l'organe vocal, car Ferrein n'examine nulle part le rôle de l'air dans le renforcement des sons ; pour lui, la glotte est formée par des cordes qui vibrent par l'action de l'air expiré des poumons agissant, dans ce cas, comme un archet. Dans son travail, il s'occupe des sons que peuvent rendre les ligaments inférieurs de la glotte, soit lorsqu'ils conservent leur connexion avec les parties qui les environnent, soit lorsqu'ils sont libres dans toute leur longueur et ne tiennent plus au reste de l'organe que par leurs extrémités. Il ne parle ni des ligaments supérieurs de la glotte, ni des ventricules du larynx.

La grande erreur de Ferrein, avec laquelle tombe nécessairement sa théorie, consiste dans cette idée qu'une corde, ébranlée par l'air, produit des sons plus intenses et plus graves que si elle est ébranlée avec un archet. Ainsi nous signalerons cette contradiction singulière, que l'air agit mécaniquement comme un archet, mais qu'il doit néanmoins comme fluide élastique faire produire à la corde des sons autres et plus intenses qu'avec un simple archet. Ces idées ne sont pas soutenables. Quel que soit, en effet, le moyen mécanique mis en jeu pour ébranler une corde, celle-ci obéira toujours aux mêmes lois ; ce que Ferrein a parfaitement admis lorsqu'il ajoute (page 413) « que les différents tons sont produits par les tensions diverses que les cordes vocales, dépourvues d'une contraction musculaire, éprouvent de la part des cartilages du larynx. »

En admettant, avec Ferrein, que les cordes vocales ne sont pas contractiles, on arrive avec lui aux conséquences suivantes : l'ouverture de la glotte diminue quand la tension augmente, elle s'agrandit quand les cordes se détendent, et cette variation d'ouverture exige, pour les sons graves, beaucoup plus d'air et des efforts de poitrine plus énergiques que pour les sons aigus, ce qui n'a pas lieu dans la phonation.

L'insertion des cordes vocales sur les parois molles du larynx établit une grande différence entre l'organe vocal et l'appeau à ruban auquel Ferrein l'a comparé. Il est impossible, en effet, d'admettre que des cordes, collées sur des lames flexibles, vibrent comme si elles étaient libres. Enfin, l'espèce d'instrument artificiel que choisit ce physiologiste, pour imiter la voix, semble indiquer qu'il n'attachait aucune importance, ou au moins qu'une importance très secondaire, à la présence de deux paires de cordes vocales.

Il faut rejeter aussi, comme contraire aux faits, qu'une corde à égalité de tension doit produire des sons différents quand on change la vitesse du courant d'air, et que dans les cordes ordinaires on peut hausser le ton en pressant l'archet (page 419).

Ferrein a observé, dans des larynx de cadavres, que le son montait quelquefois quand on augmentait la vitesse de l'air. Cela est vrai, mais inexplicable dans sa théorie.

Nous rapporterons, en terminant, les observations de Biot à ce sujet (1) : « Qu'y a-t-il, dit ce célèbre physicien, dans la glotte qui ressemble à une corde vibrante? Où trouverait-on la place nécessaire pour donner à cette corde la longueur qu'exigent les sons les plus graves? Comment pourrait-on jamais en tirer des sons d'un volume comparable à ceux que l'homme produit?.... Les plus simples notions d'acoustique suffisent pour faire rejeter cette étrange opinion. »

Quelle que fût, en effet, la nature des cordes ou bandes dont les dimensions n'excéderaient pas celles des cordes vocales, on ne parviendrait jamais, par aucun moyen mécanique, à obtenir des sons comparables, pour l'intensité et l'étendue, à ceux de la voix humaine.

Ferrein a fait beaucoup d'expériences sur des larynx de cadavres; mais plusieurs d'entre elles ont été contredites par d'autres observateurs, et quelques unes sont, d'après leur auteur lui-même, très incertaines.

On ne saurait attacher une grande importance à ces expériences plutôt physiques que physiologiques. Il est impossible de comparer les effets sonores obtenus à l'aide de larynx morts avec ceux qu'on peut observer sur l'animal vivant. Les fibres musculaires dépourvues d'élasticité et de contractilité agissent à la manière de membranes ou de cordes molles, tendues et allongées seulement par des moyens mécaniques, et les parois des tuyaux sonores privés de vie ne peuvent plus acquérir la tension qui convient aux sons qu'on veut produire. Il nous paraît impraticable de déterminer, à l'aide de pareilles expériences, le véritable mécanisme des parties nécessaires à la production des sons.

Théorie de J. Müller (2). — On ne trouve entre cette théorie et celle de Ferrein qu'une différence de mots. Le physiologiste allemand appelle *rubans vocaux* ce que Ferrein a nommé *cordes* après avoir aussi employé le nom de *rubans*. Prenant, avec sa signification absolue, la dénomination de *cordes vocales*, usitée par son prédécesseur pour désigner les replis inférieurs de la glotte, J. Müller préfère les désigner sous le nom d'*anche*, parce qu'elles ressemblent plus à des rubans qu'à des cordes. Nous n'avons compris ni cette subtilité, ni la différence qu'il prétend établir entre les vibrations des cordes et celles des lames membraneuses : quelle que soit la forme des lanières tendues, qu'elles soient cylindriques ou aplaties, elles vibreront toujours suivant les mêmes lois, et, entre les deux physiologistes précédents, c'est une question de mots. Pour tous les deux, la voix est produite uniquement par les vibrations des ligaments vocaux inférieurs (rubans vocaux, cordes vocales, anches membraneuses) mis en mouvement par le passage de l'air agissant mécaniquement et à la manière d'un archet.

J. Müller n'a rien ajouté à la théorie du physiologiste français.

C'est aussi ce que nous pensons de Malgaigne qui, sous le titre de *Nouvelle théorie de la voix humaine* (3), adopte la théorie de Ferrein en ajoutant seulement deux membranes, au lieu d'une, à l'appeau de polichinelle, auquel Ferrein avait assimilé l'organe vocal de l'homme.

(1) *Ouv. cit.*, t. I, p. 462, 2e édit.
(2) *Manuel de physiol.* Trad. de JOURDAN avec additions par LITTRÉ, t. II.
(3) Dans *Arch. génér. de méd.* 1834.

Théorie de Dutrochet (1). — Ce physiologiste admet, en la modifiant d'une manière peu heureuse, la théorie de Ferrein qui considérait les cordes vocales comme formées d'un tissu élastique, sans contractilité, et comme ne pouvant être distendues que par les actions purement mécaniques des cartilages du larynx.

Les objections très fondées que Dutrochet adresse à Ferrein l'ont conduit à la théorie suivante :

« L'organe vocal est un instrument vibrant non compliqué de tuyau.

» Les muscles thyro-aryténoïdiens, et non les membranes aponévrotiques qui les recouvrent, sont les parties vibrantes du larynx. Les aponévroses laryngées n'ont d'autre usage que de garantir les muscles qu'elles recouvrent des collisions trop fortes qu'ils auraient éprouvées s'ils eussent vibré l'un contre l'autre, dépourvus de cette enveloppe qui est passive et seulement entraînée dans les mouvements vibratoires des muscles qui constituent les replis de la glotte. »

Nous n'examinerons pas, avec Dutrochet, comment les cordes vocales s'allongent, se tendent ou modifient leur élasticité pour produire tous les tons de la voix ; car, malgré notre respect pour le mérite de ce savant, nous ne croyons pas devoir discuter de nouveau la théorie des cordes vocales, et encore moins les additions qu'il y a faites, parce qu'elles reposent sur le principe suivant qui est absolument faux :

Une corde élastique filée, c'est-à-dire entourée d'une autre substance, n'éprouve aucun changement dans les lois de ses vibrations de la part de cette substance, qui est seulement passive et entraînée dans les mouvements vibratoires de la corde. Ainsi, le cuivre qui entoure une corde à boyau, dans les cordes filées de nos instruments, ne ferait pas système avec cette corde et n'en changerait pas le ton pour une même tension. Toutes ces assertions sont erronées ; elles sont encore bien moins applicables quand il s'agit d'une corde fixée sur une membrane et non enveloppée par elle.

Liskovius (2) compare la voix humaine aux sons qui se produisent quand l'air est violemment poussé à travers une ouverture étroite, sans oscillation d'un corps solide de grandeur et de forme déterminées. La hauteur du ton dépend de la grandeur de l'ouverture et de la vitesse du vent. Le ton est d'autant plus élevé que l'ouverture est plus étroite et la pression du vent plus grande, et *vice versâ*. Le ton peut s'élever de plus d'une quinte par la force du vent. La cause des sons de la voix est dans le passage de l'air à travers la glotte. Les ventricules résonnent par communication. Pour la *voix de poitrine*, les cordes vocales sont relâchées ; elles sont tendues pour la *voix de fausset*.

On pourrait être tenté d'attribuer à Dodart, à son châssis bruyant, cette théorie de Liskovius : mais ce serait à tort, car l'auteur allemand regarde comme nulles ou sans influence les vibrations des bords de la glotte.

Dans un travail plus récent, Liskovius (3) considère l'organe vocal comme un instrument à anches, dans lequel les ventricules déterminent les tons en renforçant le son. Il admet la théorie ordinaire des anches et ne les croit pas capables

(1) *Mémoires pour servir à l'histoire anatomique et physiologique des végétaux et des animaux*, t. II, p. 540.

(2) *Dissert. physiol. sistens theoriam vocis*. Leipzig, 1814.

(3) *Physiol. des menschl. Stimme*, etc., p. 39. Leipzig, 1840.

de rendre par elles-mêmes les sons intenses de la voix. Suivant lui, tous les éléments des ventricules sont le siége des oscillations sonores primordiales et originelles.

Théorie de Savart (1). — F. Savart considère l'organe vocal, composé du larynx, de l'arrière-bouche et de la bouche, comme un tuyau conique dans lequel l'air est animé d'un mouvement analogue à celui qu'il affecte dans les tuyaux d'orgue. Ce tuyau, dit l'auteur, jouit de toutes les propriétés nécessaires pour que la masse d'air qu'il renferme soit susceptible, malgré son peu de volume, de rendre un assez grand nombre de sons, même fort graves; sa partie inférieure est formée par des parois élastiques qui peuvent affecter toute sorte de tensions, tandis que la bouche, en s'ouvrant plus ou moins, et en changeant par conséquent les dimensions de la colonne d'air, exerce aussi une influence notable sur le nombre des vibrations, conjointement avec les lèvres qui, en se rapprochant ou en s'écartant, transforment à volonté le tuyau vocal en un tuyau conique, tantôt ouvert, tantôt presque fermé.

La seule différence notable qu'il y ait, entre un tuyau à bouche membraneuse et le tuyau vocal, consiste dans le mode d'embouchure qui, pour ce dernier, est analogue à un appeau d'oiseleur à bords supérieurs rentrants. La glotte, ou fente formée par les ligaments inférieurs, joue le même rôle que la lumière dans les tuyaux d'orgue; le jet d'air qui en sort traverse l'intervalle qui existe entre les ventricules et va frapper contre les ligaments supérieurs qui, quoique arrondis, ne laissent pas de remplir la même fonction que le biseau dans les tuyaux d'orgue: alors l'air, qui est contenu dans les ventricules, entre en vibration et rend un son qui, s'il était isolé, serait sans doute assez faible, mais qui acquiert ensuite de l'intensité, parce que les ondes, qui partent de l'intervalle situé entre les ligaments supérieurs, se propagent dans le tuyau vocal placé au-dessus et y déterminent un mode de mouvement analogue à celui qui existe dans les tuyaux courts et en partie membraneux (2).

Pour que le son définitif, ainsi produit, réunisse toutes les qualités qu'on lui connaît, il faudra que la tension de la partie extensible des parois du tuyau vocal soit dans un rapport convenable avec celle des parois des ventricules, ainsi qu'avec celles des ligaments inférieurs et supérieurs, et que l'étendue des orifices à travers lesquels l'air s'échappe puisse aussi varier et s'approprier convenablement pour donner le meilleur résultat possible.

« D'après l'explication que nous venons de donner du mécanisme de la voix, continue Savart, il est clair que si l'on retranchait les parties supérieures du tuyau vocal, que si on le réduisait même aux seules ventricules, on ne diminuerait pas le nombre des sons que la voix peut parcourir; les plus graves deviendraient seulement plus faibles. Ceci explique comment on a pu faire de pareils retranchements sur des animaux vivants, sans qu'ils cessassent de faire entendre des sons. L'air, contenu dans les ventricules, pouvant résonner indépendamment de celui qui est dans le tuyau vocal, il est très présumable que, même sans que ce tuyau ait subi aucune altération, certains sons peuvent être produits par les ventricules seuls, particulièrement ceux qui sont arrachés par la douleur et peut-être aussi ceux qu'on fait entendre lorsqu'on chante en fausset. »

(1) *Annales de physique et de chimie*, 2e série, t. XXX, p. 61.
(2) SAVART, *mém. cit.*

Savart assimile l'organe vocal *de l'homme* à un appeau d'oiseleur surmonté d'un tube renforçant. Le son est produit, comme dans les tuyaux, par le mouvement vibratoire que l'air acquiert en passant à travers la glotte, mouvement conservé ultérieurement par ce fluide, lorsque, se brisant contre les ligaments supérieurs qui agissent comme le biseau d'un tuyau d'orgue, il se divise en deux nappes : l'une intérieure, fait résonner l'air des ventricules ; l'autre extérieure, ébranle l'air du tuyau vocal situé au-dessus des ligaments supérieurs de la glotte.

La théorie de Savart renferme deux parties bien distinctes ; la première est relative à la production du son dans le larynx ; la seconde concerne la forme de l'appareil renforçant ou tuyau sonore.

Dans la première partie, l'auteur avance que le son est produit dans le larynx au moyen d'un appareil semblable à un appeau, dont les bords supérieurs sont rentrants. Le son, comme on l'a vu plus haut, aurait pour cause, dans cet instrument, qu'il assimile à un tuyau d'orgue à flûte, le brisement de l'air contre les bords supérieurs, conformément à ce que nous avons dit en traitant des orgues.

Il paraît difficile d'admettre, avec Savart, deux théories différentes de l'appeau, appropriées à ses diverses formes. D'ailleurs, dans beaucoup d'animaux, les cordes vocales supérieures sont très rapprochées des inférieures sur lesquelles elles font même retrait ; en outre, pendant la phonation, la glotte inférieure étant, en général, beaucoup plus étroite que la glotte supérieure, il est peu probable que les lèvres de celle-ci puissent faire l'office de biseaux.

En admettant la théorie précédente, il resterait encore à expliquer la voix chez les animaux qui ont une glotte simple, et chez les oiseaux. Nous avons toute raison de croire que ces idées de Savart ne possèdent pas un caractère suffisant de généralité, et que la voix de l'homme n'est qu'un des phénomènes produits par une cause unique, jusqu'à présent indéterminée.

Dans la deuxième partie, Savart fait intervenir la bouche et l'arrière-bouche comme parties essentielles du tuyau vocal, comme causes de la hauteur des sons vocaux. Il sera démontré plus loin, par des faits, que ces éléments sont sans influence sur le ton.

Toutefois, nous ne saurions terminer l'exposé de la théorie de notre grand physicien, sans exprimer notre conviction qu'il a posé les vraies bases d'une bonne théorie de la voix, dans ses recherches sur l'écoulement des fluides ; et que, sans une mort prématurée, il en aurait dévoilé tous les secrets, en poursuivant ces derniers travaux qu'il a malheureusement laissés incomplets.

Aperçu général sur la voix de l'homme et des mammifères.

Nous avons discuté les principales théories qui ont été proposées pour expliquer la voix humaine ; nous en avons prouvé l'imperfection et souvent l'impossibilité.

Avant d'exposer nos propres idées sur la cause d'un phénomène aussi difficile à pénétrer que celui de la phonation, nous résumerons les faits physiques et physiologiques qui leur servent de base. S'il peut rester quelques doutes sur des détails très secondaires, nous espérons, en rectifiant et complétant les opinions de Savart, établir les véritables principes de la théorie de la voix chez les animaux supérieurs.

A. *Expériences et faits physiques.*

1° Lorsque l'air s'échappe par un orifice de forme, de grandeur et de nature quelconque, son écoulement est périodiquement variable et l'orifice est le siége d'un mouvement oscillatoire du fluide, et par suite de vibrations sonores.

Les sons ainsi produits sont peu intenses, parce que les vibrations communiquées à l'air extérieur, et propagées jusqu'à l'organe de l'ouïe, sont bientôt éteintes par la grande masse du fluide résonnant. Mais, en réglant convenablement la vitesse et la pression de l'air lorsqu'il traverse l'*orifice sonore*, on parvient à obtenir des sons intenses avec de très grandes ouvertures.

2° Si l'on ajuste un tuyau convenable sur un orifice sonore, le son est considérablement renforcé par la colonne d'air à laquelle le fluide qui s'écoule imprime son mouvement vibratoire. Le tuyau vibre à l'unisson du son produit à l'orifice, et peut, dans certains cas, faire entendre plusieurs harmoniques dont la série, grave ou aiguë, dépend de la grandeur de cet orifice et de la pression de l'air.

3° Un son, produit dans un tuyau, sort toujours le même pour une même pression et reste constant quand on augmente cette pression de l'air jusqu'à une certaine limite, après laquelle le son change ou disparaît. L'étendue des limites de pression, pour lesquelles un son reste constant, dépend de la hauteur de ce dernier.

L'intensité du son change seule entre ces pressions-limites, pour croître ou diminuer avec elles.

4° A une ouverture déterminée, correspond toujours un tuyau, de diamètre et de longueur convenables, qui ne peut donner qu'un seul son entre des limites de pression très étendues, au delà desquelles il ne vibre plus.

5° Tout changement, même très peu important en apparence, comme la courbure de la plaque, une légère altération dans l'orifice, une asymétrie des bords relativement à un diamètre donné, modifie toutes les conditions de l'ébranlement sonore. Ainsi sont changées les pressions nécessaires pour faire parler les tuyaux, qui ne donnent plus les mêmes séries d'harmoniques qu'auparavant; pour obtenir un son unique, il faut d'autres tuyaux, les premiers ne pouvant plus entrer en vibration.

6° Les sons peuvent être engendrés à l'orifice et faire résonner les tuyaux par aspiration ou par insufflation.

7° Les pressions, pour obtenir de très beaux sons dans des tuyaux au moyen de l'écoulement de l'air, sont toujours très faibles. Dans les expériences de A. Masson, avec des orifices de 2 à 7 millimètres de diamètre sur 3 à 5 millimètres d'épaisseur, un manomètre à colonne d'eau a varié seulement depuis une fraction de millimètre jusqu'à un décimètre pour des sons compris dans une étendue de neuf octaves.

8° Les tuyaux à parois membraneuses fournissent des sons beaucoup plus graves que des tuyaux de même dimension à parois rigides; et, en faisant varier convenablement la tension des membranes qui renferment la colonne d'air vibrante, on peut, son volume restant le même, déterminer de très grands changements dans la hauteur des sons dont l'acuité augmente avec la résistance des parois. Ainsi, Savart a pu augmenter indéfiniment la gravité des sons de tuyaux de papier rendu humide par de la vapeur d'eau (1).

(1) *Mém. cit.*, p. 74.

On obtient de nouveaux changements dans le ton d'une colonne d'air en la fermant partiellement.

9° Si l'on prend un appeau d'oiseleur muni d'un porte-vent, on pourra en tirer plusieurs sons; mais le son correspondant à la caisse de l'appeau sera toujours le plus pur et le plus intense. En ajoutant un tuyau à l'appeau, on arrivera, si l'on varie la vitesse du courant d'air, à entendre le son de l'appeau seul, ou les harmoniques du tuyau ajouté, ou enfin le même son pour l'appeau et le tuyau, lorsque les dimensions des deux instruments seront convenablement choisies: dans ce cas, le son produit à l'orifice de l'appeau subira le plus grand renforcement possible.

Il est important de noter que les plus légères modifications dans la forme des tuyaux, la rigidité de leur enveloppe, la grandeur des orifices d'entrée et de sortie de l'air dans l'appeau, exercent une grande influence sur l'écoulement du gaz et ses vibrations.

Quand on place un appeau dans la bouche, on réussit à produire, par inspiration ou expiration, une série de sons très purs. Dans ce cas, c'est la cavité buccale qui s'accommode au son de l'instrument, de la même manière que dans le sifflement oral. Si l'on pouvait aussi faire varier les éléments de l'appeau, c'est-à-dire son volume, la tension de ses parois, ses orifices, on obtiendrait une série de sons beaucoup plus étendus et plus diatoniques. Dans le cas actuel, on ne peut avoir qu'une suite de sons déterminés, mais non continus, c'est-à-dire montant, comme dans la sirène, sans aucune transition.

B. *Expériences et faits physiologiques.*

La plupart des physiologistes qui se sont occupés de la voix ont expérimenté sur des larynx de cadavres. Nous avons répété leurs expériences et nous sommes restés convaincus qu'elles ne sont guère propres à éclairer le mécanisme de la phonation. Les phénomènes purement physiques qu'on observe alors n'ont que des rapports assez éloignés avec les actions qui se passent durant la vie. Les muscles, dans les larynx de cadavres, ne sont plus susceptibles de contraction, et les tensions qu'on développe artificiellement dans les diverses parties de l'organe vocal ne sauraient être comparées aux effets des actions musculaires qui accroissent l'élasticité des tissus en même temps que leur tension et leur densité.

Malgré leurs quelques imperfections, les expériences sur des animaux vivants sont encore ici le meilleur guide dans la recherche des faits.

Nous avons examiné des larynx de chiens et de chats vivants dans les deux conditions suivantes : 1° Les mâchoires étant largement écartées, la langue a été en partie attirée hors de la bouche au moyen d'une forte pince érigne, de manière à élever le larynx assez haut pour qu'il devînt facile d'observer le jeu de la glotte et des parties voisines. 2° A l'aide d'incisions convenables, pratiquées sur la membrane thyro-hyoïdienne, l'épiglotte a été saisie avec une érigne et le larynx lui-même ramené en avant (sans lésion préalable des nerfs laryngés), de manière à mettre la glotte en évidence.

I. Parmi les divers organes qui livrent passage à l'air expiré, le larynx est le seul spécialement destiné à la production de la voix.

En effet, chacun sait que, une ouverture étant faite à la trachée ou à la membrane crico-thyroïdienne, la voix se perd aussitôt, puis se reproduit dès qu'on oblitère cette ouverture; tandis qu'une incision, quelque étendue qu'elle soit, *pratiquée entre l'os hyoïde et le* cartilage thyroïde, n'entraîne point l'aphonie

Mais le larynx étant un organe complexe, composé de la glotte que limitent les cordes vocales proprement dites, des ventricules, des cordes vocales supérieures, et du tuyau laryngien sus-glottique limité supérieurement par l'épiglotte, il ne suffit pas de dire qu'il est le seul organe producteur de la voix, il faut encore déterminer le rôle de chacune de ses parties constituantes; aussi, ultérieurement, nous livrerons-nous à cette étude tout expérimentale.

En ce moment, fixons d'abord notre attention sur les usages accessoires de divers appareils ou tuyaux sur-ajoutés à l'organe principal :

La trachée ne remplit pas d'autre usage que celui de porte-vent.

La bouche et l'arrière-bouche ne sont pas nécessaires à la production de la voix, comme l'ont cru quelques physiologistes. Les colonnes d'air que ces cavités renferment peuvent renforcer le son, mais n'ont aucune influence sur le *ton*.

Il en est de même des fosses nasales : le son n'éprouve, en effet, aucun changement quand on se bouche le nez pendant son émission.

Lorsqu'on ferme la bouche totalement ou partiellement, le son perd en intensité, mais il ne change pas de hauteur. On peut parfaitement chanter plusieurs gammes en conservant la bouche constamment ouverte, ce à quoi s'exercent plusieurs chanteurs : le son acquiert alors plus d'intensité, mais ne varie pas.

Ainsi, pendant la phonation, l'air peut s'échapper par le nez ou par la bouche, ou par ces deux conduits à la fois, sans que ces différences influent autrement que sur l'intensité et le timbre du son. Le volume d'air qu'ils contiennent agit, comme la caisse des instruments de musique, pour renforcer le son, conformément à ce principe que tout corps mis en communication avec un corps sonore entre en vibration et renforce le son sans changer le ton. Il faut pourtant excepter le cas dans lequel le corps impressionné pourrait rendre le même son ou un harmonique du corps sonore : dans ce cas, le renforcement serait le plus grand possible, et il pourrait y avoir réaction entre les deux corps et par suite modification dans le ton, s'ils n'étaient pas parfaitement d'accord.

Nous répéterons, avec Dutrochet (1), « si les changements de diamètre et de configuration des diverses parties de la bouche, si l'ouverture plus ou moins grande des lèvres pouvaient changer les tons, le chant articulé serait extrêmement difficile et peut-être impossible. On ne pourrait, en effet, faire coïncider un ton déterminé avec la prononciation de toutes les voyelles sans changer la position du larynx ; car on sait que les modifications de la voix, que nous nommons *voyelles*, dépendent des divers changements de figure et de grandeur de la cavité de la bouche et de son ouverture extérieure. On peut s'assurer que le larynx donne constamment le même ton sans changer de place, quelles que soient la configuration de la bouche et l'ouverture des lèvres. »

La bouche, l'arrière-bouche et les fosses nasales n'étant pas essentielles à la phonation, il reste à examiner quelles sont les parties du larynx nécessaires à la production de la voix et quel est leur mode d'action.

II. Pendant la phonation, comme nous l'a démontré l'inspection directe du larynx de chiens et de chats vivants, les orifices des *deux glottes* (2) prennent

(1) *Ouv. et l. cit.*, p. 538.

(2) Déjà, plus haut, le lecteur a pu remarquer que nous distinguons *une glotte supérieure* ou *fente limitée* par les deux cordes vocales supérieures, et une glotte inférieure ou vraie fente *circonscrite spécialement* par les deux cordes vocales inférieures.

par la tension des cordes vocales supérieures et inférieures, la forme d'une fente un peu elliptique. La glotte supérieure est plus ouverte que l'inférieure dans le chien ; elle est réduite, au contraire, à une simple fente dans le chat. Les lèvres des deux glottes, fortement tendues, vibrent pendant l'émission de la voix. Nous avons constaté ces faits à plusieurs reprises, en écartant largement les mâchoires des animaux mis en expérience et en élevant leur larynx le plus possible, à l'aide d'une traction de la langue.

Quand, par un autre procédé indiqué plus haut, le larynx d'un chien a été renversé au-devant du col, on constate que le son n'éprouve qu'une diminution d'intensité, et que les cordes vocales supérieures sont plus rapprochées qu'à l'état normal, c'est-à-dire que sur un larynx vu en place.

Les parois des ventricules et celles du tuyau laryngien sus-glottique sont fortement tendues pendant les cris que poussent les animaux.

Pour reconnaître si toutes les parties qui constituent le larynx sont ou non essentielles à la phonation, nous avons dû procéder par voie d'analyse expérimentale sur chacune d'elles.

1° *Épiglotte* (1).

Haller (2) refuse à l'épiglotte toute influence sur la phonation : « *Epiglottis*, dit-il, *equidem nihil facit ad vocem, et absque epiglottide aves suavissime canunt... Neque vicissim credo ad vocem harmonicam* (3), *aut sonorum diversitatem facere* (4). *Noluimus tamen hanc a larynge historiam separare*, etc. » Puis il fait remarquer que Galien (5) n'a pas même rangé l'épiglotte au nombre des parties qui constituent l'appareil vocal. Au contraire, dans ces derniers temps, on a affirmé (6) qu'en raison de sa forme, de sa position, de son élasticité et de ses mouvements, ce fibro-cartilage appartenait essentiellement à cet appareil. L'expérience ayant démontré que si, dans un instrument à vent, à l'aide d'un courant d'air plus rapide, on rend le son plus fort, le ton s'élève un peu, Grenié imagina, pour obvier à ce dernier inconvénient, c'est-à-dire pour enfler un son sans que le ton soit modifié, de placer dans le tuyau, au-dessus de l'anche, une languette souple et vibratile, dont l'inclinaison, proportionnelle à la violence du courant d'air, modère l'élévation du ton à mesure que le son acquiert plus d'intensité : or, Biot et Magendie (*ouv. cit.*), assimilant cette languette à l'épiglotte, ont pensé que la présence de celle-là permet à la voix humaine d'enfler un son, depuis la vibration la plus courte jusqu'à la plus étendue, sans que le ton éprouve le moindre changement. J. Müller (7) combat cette hypothèse, et affirme que les expériences lui ont appris que l'épiglotte n'empêche point le ton de s'élever, quand le souffle devient plus fort : celles que j'ai exécutées sur plusieurs chiens, tout en démontrant que l'ablation totale de l'épiglotte ne modifie pas leur voix d'une manière essentielle, confirment cette dernière opinion. Il m'est

(1) Consultez mon mémoire intitulé : *Rech. expérim. sur les fonctions de l'épiglotte et sur les agents de l'occlusion de la glotte, dans la déglutition, le vomissement et la rumination*. Dans *Arch. de méd.* Paris, 1841.

(2) *Elementa Physiol. corp. hum.*, t. III, p. 372, 4.

(3) TAUVRY, p. 368.

(4) SANTORINI, p. 107.

(5) *De vocal. instrum. dissect.*, C. 4.

(6) *Élém. de physiol.*, 1836, t. I, p. 308, par MAGENDIE.

(7) *Manuel de physiol.*, trad. de Jourdan, t. II, art. VOIX.

souvent arrivé, tout en évitant la lésion des nerfs laryngés inférieurs, de détacher partiellement et de renverser en avant le larynx de ces animaux ; alors il m'était toujours facile de rendre plus ou moins rapide le courant d'air expiré, en leur faisant endurer une douleur plus ou moins intense, et, dans tous ces cas, que l'épiglotte intacte fût abaissée *à divers degrés* sur l'orifice laryngien, ou qu'elle fût excisée, j'ai toujours constaté l'exactitude de l'assertion du professeur de Berlin. Prenez, sur l'animal mort, un larynx muni d'épiglotte, et, tendant les cordes vocales, poussez de l'air avec force dans la trachée ; le son que vous obtiendrez alors ne différera pas, d'une manière appréciable, de celui qui se fera entendre après l'excision de cet opercule, si toutefois les autres conditions de l'expérience demeurent les mêmes.

Ces faits négatifs, établis par l'expérimentation et favorables au sentiment de Haller, ne nous paraissent pas de nature à être contredits par l'observation d'individus qui, ayant eu l'épiglotte détruite par une maladie ou enlevée accidentellement, ont consécutivement présenté un trouble notable dans les phénomènes vocaux, attendu que, dans ces cas, l'altération pathologique semble toujours avoir envahi l'instrument véritable de la phonation ou ceux de la prononciation.

L'épiglotte nous a paru servir, dans quelques cas et surtout dans la production de sons très aigus, à compléter l'occlusion de l'isthme du gosier, et concourir ainsi à l'expulsion de l'air par les fosses nasales. Participant d'ailleurs au mouvement vibratoire de ce fluide, elle peut contribuer au *timbre* de la voix.

2° *Cordes vocales supérieures.*

Les cordes vocales supérieures ne sont pas nécessaires à la phonation. En effet, sans léser les ventricules, nous avons pu inciser ces prétendues cordes sur des larynx restés en place ou bien renversés au-devant du col des animaux, et les sons rendus n'ont pas été sensiblement modifiés. Les chiens et *les chats* ont continué à pousser des cris très aigus, cris dont on pouvait encore singulièrement accroître l'acuité, en faisant basculer le cartilage cricoïde sur le thyroïde, pour augmenter ainsi la tension des parois ventriculaires, celle des cordes vocales proprement dites, et diminuer l'ouverture de la glotte inférieure.

3° *Ventricules du larynx.*

Les ventricules, d'après nos expériences propres, sont indispensables à la phonation complète. Réunis au tuyau laryngien sus-glottique, ils forment l'appareil renforçant essentiel, celui sans lequel la voix ne saurait se produire intégralement.

Sur le larynx de chiens vivants, après avoir successivement retranché l'épiglotte, les cordes vocales supérieures et les ventricules, de manière à ne laisser que les cordes vocales inférieures, sans doute nous avons encore obtenu des sons, comme d'autres physiologistes l'avaient déjà remarqué. Mais cela suffit-il pour admettre avec eux, que les cordes vocales inférieures constituent, à *elles seules* et essentiellement, l'organe vocal, en vibrant à la manière des anches membraneuses ?

Si l'on examine, avec attention, les phénomènes qui accompagnent, dans ce cas, la production d'un son, on remarque diverses particularités : d'abord les cordes vocales sont au contact, ce qui n'a pas lieu dans la voix naturelle ; puis c'est par des efforts considérables de l'animal que l'air, écartant les cordes vocales fortement

tendues, s'échappe en produisant un son laryngien particulier qui n'a plus de ressemblance avec la voix, et qu'on peut comparer au son des anches membraneuses sans porte-vent ou tuyau additionnel, ou bien encore à celui de l'orifice anal : dans les deux cas, c'est une simple explosion de gaz, et non pas un son continu et musical.

En mesurant la pression exercée à la sortie du gaz, nous avons trouvé 18 à 20 centimètres de mercure.

Cette pression est évidemment hors de toute proportion avec celle qu'exigent les sons de la voix dans des chiens de petite taille, comme étaient ceux de ces animaux qui ont servi à nos expériences. Il résulte, en effet, des expériences de Cagniard-Latour (1), qu'une personne, observée par lui, exerçait des pressions de 7 centimètres de mercure quand elle prononçait son propre nom à haute voix, comme lorsqu'on appelle quelqu'un ; de 5 à 6 centimètres de mercure pendant qu'elle riait modérément ; de 18 à 20 centimètres lorsqu'elle se mouchait avec force ; de 23 centimètres quand elle toussait fortement, et de 24 lorsqu'elle éternuait.

Des expériences, faites avec un manomètre à eau, ont donné au même physicien une pression représentée par une colonne d'eau de 3 centimètres pendant l'expiration, et, en sens contraire, de 2 pendant l'inspiration. Pendant le chant, dans un ton médium, on en a trouvé 16. Lorsque le chant, sans être plus intense, est devenu plus aigu, le manomètre est monté à 20 pour descendre à 6 quand le sujet sifflait, avec la bouche, un *ut* de 1,024 vibrations simples par seconde. La personne ayant compté depuis un jusqu'à vingt pendant une seule expiration de cinq secondes, la pression a été comprise entre 12 et 13 centimètres d'eau.

Sur un autre sujet, Cagniard-Latour a observé qu'en moyenne la phonation exigeait une pression d'air représentée par une colonne d'eau de 16 pouces.

Il résulte de ces expériences intéressantes et de celles qui les précèdent, qu'on ne saurait regarder comme *naturels*, les sons produits par la glotte inférieure seule ; c'est-à-dire privée de ses ventricules.

Il est, d'ailleurs, une circonstance qui rend la voix, proprement dite, à peu près impossible lorsqu'on a supprimé les ventricules, et, jusqu'à présent, aucun physiologiste ne nous semble en avoir fait la remarque ; nous voulons parler de l'action de la glotte inter-aryténoïdienne, dont l'ouverture, alors béante, laisse échapper nécessairement une très grande quantité d'air, ce qui augmente encore les efforts que l'animal doit faire pour vaincre l'élasticité de ces cordes.

4° *Cordes vocales inférieures et glotte proprement dite.*

La glotte vocale ou inférieure est absolument indispensable pour produire les sons de la voix ; car toute lésion qui annule ses fonctions rend l'animal aphone.

Ayant mis à découvert le larynx de divers chiens, et, sans léser les cordes vocales supérieures ni les ventricules, nous avons entamé superficiellement l'une des cordes vocales inférieures : la voix a été réduite à une espèce de râle. Toute apparence de son a disparu après la lésion des deux cordes vocales inférieures.

Ainsi l'intégrité de la glotte vocale ou inférieure est tout à fait indispensable à la voix ; mais sa seule intervention, comme on l'a vu plus haut, *n'est pas suffisante.*

Afin de confirmer cette dernière observation, nous avons disposé une expérience qui offre quelque intérêt :

(1) Dans le *Journal de l'Institut*, n° 228, janvier 1838.

Après avoir réduit le larynx d'un chien à la glotte inférieure seulement, nous avons pris des tuyaux de verre ou de caoutchouc vulcanisé, ayant environ le diamètre du larynx et pouvant donner, comme sons fondamentaux, à peu près la série des sons de la voix du chien. Un de ces tubes étant disposé sur la glotte, celle-ci s'est un peu entr'ouverte, et les sons ont acquis, à l'instant même et sous des pressions obtenues sans effort par l'animal, tous les caractères principaux des sons de la voix naturelle. En employant des tubes plus grands, nous avons eu, non plus le son fondamental, mais des harmoniques, de la même manière qu'avec un orifice de nature et de forme différentes de l'orifice de la glotte.

D'après nos recherches, dans les animaux à double glotte, les cordes vocales inférieures et les ventricules sont donc nécessaires à la phonation. Avec le tuyau laryngien sus-glottique, ces ventricules forment un appareil résonnant, analogue au tube laryngien des animaux à glotte simple. Il y a donc, dans ces deux classes d'animaux, les mêmes éléments vocaux, c'est-à-dire une glotte qui est l'origine des sons et un appareil renforçant, dont la différence de forme ne saurait constituer une différence essentielle dans la cause des phénomènes vocaux.

Les cordes vocales supérieures doivent être considérées uniquement comme un moyen de perfectionnement en rapport avec la variation et la modulation des sons.

5° *Espace inter-aryténoïdien.*

L'espace inter-aryténoïdien représente une ouverture circulaire qui joue un rôle utile pendant l'émission des sons, quoique lui-même ne soit jamais le siége d'aucune vibration sonore.

Pendant qu'un chien fait entendre des sons vocaux, on voit l'espace inter-aryténoïdien se resserrer ou s'ouvrir, en même temps que le son éprouve des modifications dans le ton ou l'intensité. Si alors on le ferme avec un petit cône en bois, on ne suscite aucun empêchement aux cris de l'animal. Celui-ci devient aphone. au contraire, si l'on oblitère les ventricules, bien que la respiration continue, l'ouverture inter-aryténoïdienne devenant le plus grande possible. Cette dernière disposition si importante, et sans laquelle on ne pourrait concilier les phénomènes de la voix avec une respiration normale, joue évidemment le même rôle dans tous les mammifères à glotte simple ou double.

Théorie de la voix des mammifères à glotte double (1).

Pendant la phonation, les aryténoïdes se rapprochent de manière à diviser le larynx en deux canaux : l'un antérieur, l'appareil vocal; l'autre postérieur, destiné à la respiration, ou pour mieux dire servant à la régler pendant le cri ou le chant. Ce dernier est terminé, à sa partie supérieure, par la glotte inter-aryténoïdienne, dont l'ouverture variable détermine la pression de l'air à sa sortie de la glotte vocale.

La voix, dans les animaux à double glotte, est originairement produite par l'écoulement périodique de l'air à travers la glotte inférieure ou vocale qui est le siége principal des vibrations sonores. Communiquées à l'appareil renforçant, composé des ventricules et du tuyau laryngien sus-glottique, ces vibrations le font résonner et produisent la voix.

L'ouverture de la glotte est toujours proportionnée au ton de l'appareil renfor-

(1) Nous avons défini plus haut, p. 176, la glotte supérieure et la glotte inférieure.

çant qui peut changer avec la rigidité des parois du larynx entièrement musculaires et aussi avec ses dimensions.

Le mouvement vibratoire de l'air, à sa sortie de la glotte, est toujours à l'unisson du son du tuyau laryngien, qui ne peut produire qu'un seul son dans les limites de pression possibles pour les animaux.

La hauteur des sons, gravité ou acuité, dépend de la pression de l'air à sa sortie, cette pression restant, pour chaque son, comprise entre certaines limites.

L'intensité des sons de la voix dépend de la variation de pression que l'air peut éprouver sans que le ton change, et croît quand on passe de la limite inférieure pour laquelle le son se manifeste à la limite supérieure pour laquelle il cesse.

La glotte supérieure, celle qui est limitée par les deux cordes vocales supérieures, partage l'appareil renforçant en deux cavités qui doivent toujours être à l'unisson dans la voix de poitrine. C'est par des variations de forme et d'ouverture qu'elle accommode le ton de la cavité ventriculaire au son de l'orifice sonore ou de la glotte inférieure. Du reste, elle diffère essentiellement de cette dernière en ce que ses bords sont formés, non plus de muscles contractiles, mais de cordons fibreux dont la tension est mécaniquement produite par les différents cartilages du larynx. Aussi devons-nous faire observer qu'elles sont soumises à l'action des extrémités supérieures des aryténoïdes qui agissent plus puissamment que les parties inférieures sur lesquelles s'insèrent les cordes vocales proprement dites.

Il existe une grande analogie entre les organes vocaux des mammifères et l'appareil du sifflement oral chez l'homme, entre la glotte vocale et la glotte labiale. En variant les détails, la nature n'a pas changé les moyens : et les sons, dans tous ces instruments naturels, dépendent d'une même cause.

Prenant en considération les principes physiques qui ont été développés précédemment, on pourra comparer, avec Savart, l'organe vocal de l'homme à un appeau surmonté d'un tube, et, avec G. Cuvier, à une embouchure de trompette, qui n'est qu'un appeau, muni d'une ouverture membraneuse analogue à la glotte, avec tube additionnel.

Les expériences que nous avons faites sur les larynx d'animaux vivants nous ont forcément amenés, comme on l'a vu plus haut, à cette conséquence que la glotte inférieure et les ventricules ou tout autre tuyau sonore sont essentiels à la production de la voix. Il nous reste à prouver maintenant, que, en négligeant un de ces éléments, la voix est impossible quelque théorie qu'on adopte.

Les cordes de nos instruments de musique ne résonnent pas d'une manière sensible sans un appareil de renforcement, et les cordes métalliques elles-mêmes n'ont aucune sonorité sans un tuyau renforçant. Ainsi, même avec les théories des cordes vocales ou des anches, les ventricules ou tout autre tuyau sonore deviennent d'une nécessité absolue pour donner à la voix une intensité suffisante.

En supprimant les ventricules, Dodart n'a jamais pu expliquer la voix par l'écoulement seul de l'air, et nous serions dans le même cas si nous n'avions pas constaté l'usage et la nécessité d'une colonne d'air placée sur l'orifice d'écoulement.

En effet, si la glotte existait seule, le son devrait monter d'une manière continue avec la pression comme dans une sirène, et l'on ne pourrait pas faire varier son intensité, en laissant constante l'ouverture de la glotte. Il faudrait admettre alors

Assurément c'est abuser de la comparaison que de faire fonctionner les cordes vocales comme des cordes de violon.

2° Avec Lehfeldt, J. Müller invoque, pour expliquer la voix de fausset, un phénomène qui n'existe pas en physique : considérant les lèvres de la glotte comme des rubans sonores, il suppose qu'une partie seulement de l'épaisseur de ces rubans entre alors en vibration. « Lorsque les cordes vocales, dit J. Müller, ont un si faible degré de tension ou de détente qu'on parvient à leur faire produire des sons de poitrine ou de fausset, on peut se convaincre que ces derniers ne sont pas des sons flûtés, comme ceux auxquels donnent lieu les vibrations des parties aliquotes de la longueur d'une corde. Dans les deux cas, pendant les sons aigus du fausset et les sons graves de la voix de poitrine, les cordes vocales peuvent vibrer de toute leur longueur ; on le constate par le témoignage de ses yeux. La différence essentielle des deux registres consiste en ce que *les bords des cordes vocales vibrent seuls dans les sons de fausset*, tandis que, dans ceux de poitrine, les cordes entières exécutent des vibrations vites et à grande excursion (1). »

Tous les phénomènes connus, concernant les mouvements vibratoires des solides, nous obligent à rejeter une théorie qui repose sur cette hypothèse erronée que, quand un ruban fixé à ses deux extrémités est le siége de vibrations transversales, la moitié, le quart ou une partie quelconque du ruban, en largeur, peut vibrer isolément, sans entraîner le reste dans ses vibrations.

Faire vibrer les bords des cordes vocales pour le fausset, avec J. Müller, et leur centre pour la voix de poitrine, avec Dutrochet, constitue une théorie qu'aucune expérience ne saurait justifier. Il eût été plus rationnel d'admettre des vibrations tournantes, c'est-à-dire des vibrations transversales avec une ligne nodale longitudinale, donnant des subdivisions harmoniques sur la largeur, au lieu de les avoir sur la longueur, comme dans l'opinion de G. Weber. Mais la conformation des rubans vocaux, et leur contact aux extrémités, s'opposeraient encore ici à la subdivision harmonique.

3° Hâtons-nous d'arriver à une autre théorie plus séduisante, appuyée sur l'expérimentation directe, et, par conséquent, digne d'un mûr examen ; nous voulons parler de la théorie de Segond, physiologiste distingué, possédant des connaissances musicales fort étendues qu'il a d'ailleurs si bien utilisées dans ses nombreux et intéressants mémoires sur la voix (2).

Segond admet, dans le larynx, deux instruments distincts et correspondants aux deux glottes : l'un, pour la voix de poitrine, formé des cordes vocales inférieures : l'autre, pour la voix de fausset, constitué par les cordes vocales supérieures.

Voici les principaux faits qui ont amené cet expérimentateur à établir la précédente distinction :

Sur des chats (3), les cordes vocales inférieures ayant été divisées, il survint une aphonie complète qui cessa au bout de quelques jours : le miaulement, avec la

(1) *Loc. cit.*

(2) *Mém. cit., Arch. gén. de méd.*

(3) Segond a pris des chats pour sujets de ses expériences, parce que, suivant lui, ces animaux présentent le plus ordinairement la voix de fausset dans le miaulement, les replis inférieurs ne produisant que des sons médiocres, mais plus graves, qui ne se font entendre que dans des circonstances exceptionnelles.

voix de fausset, se fit entendre de nouveau. Sur d'autres animaux de la même espèce, l'instrument étant introduit par la cavité buccale, après avoir attiré le larynx à l'isthme du gosier au moyen d'une pince agissant sur la langue et d'un crochet saisissant l'épiglotte, la section des cordes vocales supérieures fut pratiquée ; aussitôt le miaulement, les cris furent abolis.

Segond a signalé une observation importante qu'ont pu faire tous les physiologistes qui ont examiné des glottes en état de vibration : la partie des cordes vocales, réellement facile à voir vibrer, est variable en étendue, et les cordes, en se rapprochant, se touchent de plus en plus à partir de leurs points d'attache.

L'auteur tire de cette remarque la conséquence qu'il s'établit, entre la longueur des cordes vocales et leur tension, une compensation telle qu'une corde peut, pour un même son, se relâcher, mais se raccourcir si ce dernier a peu de force, et se tendre en s'allongeant s'il acquiert de l'intensité.

Évidemment, on ne saurait admettre, avec cet observateur, que les sons graves ou aigus puissent être produits, selon leur intensité, par une même tension des cordes vocales ayant des longueurs différentes. Comment expliquer, dans cette hypothèse, la variation d'intensité des sons graves correspondants aux plus faibles tensions des ligaments vocaux ? Peut-on nier la connexion évidente qui existe entre la tension des cordes et leur rapprochement ?

Après avoir abandonné, pour l'explication de la voix de fausset, la théorie des vibrations des bords de la glotte, Segond s'en sert pour expliquer les sons aigus produits par les cordes inférieures du larynx. Cela nous a paru une contradiction ; car, s'il est possible que les vibrations des bords de la glotte donnent des sons aigus, on ne voit pas pourquoi elles ne produiraient pas également les sons de fausset.

Segond a bien voulu répéter avec nous ses expériences : il nous pardonnera si, dans l'intérêt de la vérité, nous nous montrons difficiles sur les conséquences qu'il en a déduites. Car le succès de sa théorie sur la voix de fausset nous paraissait d'autant plus désirable qu'elle s'accorde parfaitement avec nos propres principes : les sons de fausset seraient produits, si l'on admet deux appareils vocaux, par les vibrations dues à l'écoulement périodique de l'air à travers la glotte supérieure ; le canal sus-glottique ou la cavité ventriculaire formerait, dans ce cas, le tuyau renforçant : on pourrait même considérer la colonne d'air vocale comme partagée en deux par l'orifice sonore.

Mais les cordes vocales supérieures peuvent-elles être l'origine de vibrations sonores ? Voilà toute la question.

Nous avons coupé les cordes vocales supérieures, chez des chiens et des chats, *sans léser les ventricules*, et nous avons obtenu, malgré cette opération, des sons d'une intensité remarquable et d'une grande *acuité* qui s'augmentait singulièrement encore lorsque, aidant à l'action des muscles crico-thyroïdiens, nous élevions un peu le bord antérieur du cartilage cricoïde de manière à tendre davantage les cordes vocales inférieures.

Dans nos expériences, l'aphonie a toujours été complète après l'incision de ces dernières, malgré l'intégrité des cordes vocales supérieures dont le rapprochement et la tension n'ont jamais fait reparaître la voix, quelque soin qu'on apportât à les placer dans des conditions propres à produire des sons.

Si les ligaments supérieurs de la glotte pouvaient être le siége de vibrations *sonores, la section des inférieurs* devrait les favoriser ; et, comme nous n'avons

jamais pu produire des sons avec la glotte supérieure seule, nous sommes en droit de conclure qu'en effet elle ne peut être l'origine d'aucun son.

Si, après la lésion des cordes vocales inférieures, Segond a vu des chats recouvrer le miaulement au bout de quelques jours, c'est que les parties divisées avaient pu reprendre, par la cicatrisation, assez de cohésion pour former un nouvel orifice sonore auquel l'animal a dû s'habituer.

Enfin, les mouvements des cartilages qui produisent la tension des cordes vocales supérieures, entraînant nécessairement celle des inférieures, on ne conçoit pas que ces dernières, qui reçoivent directement l'action de l'air, restent au repos pendant que celles-là vibrent sous l'influence de l'air brisé dans son mouvement, et dilaté par les ventricules.

En résumé, n'ayant pu, jusqu'à présent, rendre sonore la glotte supérieure, nous admettons que les cordes vocales inférieures représentent l'origine commune des sons de poitrine et des sons de fausset.

4° Savart (1) émet de simples conjectures sur l'émission de la voix de fausset :

« L'air des ventricules, dit ce physicien, pouvant résonner indépendamment de celui qui est dans le tuyau vocal, il est très présumable que, même sans que ce tuyau ait subi aucune altération, certains sons peuvent être produits par les ventricules seuls, particulièrement ceux qui sont arrachés par la douleur et *peut-être* ceux qu'on fait entendre quand on chante en fausset. »

Les vibrations des ventricules seulement exigeraient, pour les sons aigus du fausset, une trop grande pression dans le cas où ceux-ci donneraient leur son fondamental, et l'intensité du son produit par ce tuyau vocal très réduit n'atteindrait pas celle des sons de poitrine, comme on le remarque dans la voix de tête.

Toutefois, Savart nous paraît avoir entrevu la vérité; mais, manquant alors d'expériences, il laisse sans explication les détails les plus importants.

Dans la voix de poitrine, tout l'air contenu dans les ventricules et le tuyau laryngien sus-glottique forme un appareil renforçant ou tuyau unique qui, s'accommodant entièrement au son de l'orifice sonore, ne peut donner qu'un seul son, qui est le son *fondamental* de la colonne d'air.

Dans la voix de fausset, le bord antérieur du cartilage cricoïde s'élève visiblement, les ligaments supérieurs de la glotte se rapprochent et sont fortement tendus, ainsi que les parois des ventricules; de telle sorte que la forme de la colonne d'air laryngienne est notablement modifiée. Il en est de même par suite des conditions vibratoires de la glotte.

Nous croyons satisfaire à toutes les conditions du phénomène de la voix de fausset, en admettant que la nouvelle disposition de l'organe vocal facilite la formation d'un ventre de vibration à la glotte supérieure, de manière que le son de fausset est un harmonique du tuyau vocal proprement dit. Les ventricules et le tuyau laryngien sus-glottique vibrent à l'unisson et sont séparés par un ventre de vibration.

Conformément à ce qu'on observe dans un tuyau fixé sur une plaque munie d'un orifice sonore, le son fondamental et l'harmonique, ou son de fausset, pour-

(1) *Mém. cit.*, p. 65.

raient être produits par une même ouverture de glotte, en forçant légèrement le vent, ce qui paraît parfaitement d'accord avec les conditions exigées par la voix de tête. On retrouve, en effet, dans les sons du second registre de la voix humaine, le caractère flûté des harmoniques des tuyaux. On explique la possibilité de produire deux sons, le son fondamental et l'harmonique ; fait observé par Garcia sur des Baskirs.

Enfin, les cartilages *cunéiformes* auraient leur raison d'être : ils formeraient, en effet, dans certains cas, un petit canal qui mettrait les ventricules en communication avec l'air situé au-dessus du larynx, pendant la jonction des aryténoïdes et le rapprochement des cordes vocales supérieures. Ils agiraient donc, dans la voix de fausset, comme les trous dans les instruments à vent (1).

Du chant.

L'organe vocal peut produire tous les sons possibles, contenus toutefois dans une certaine limite qui constitue l'*étendue de la voix.*

Les sons peuvent monter ou baisser d'une manière continue, comme ceux de la sirène. Cet effet a lieu dans les cris de l'homme, lorsqu'ils expriment la douleur ou certaines émotions profondes ; dans le hurlement ou le cri plaintif du chien. C'est ce même phénomène qu'on désigne en musique par le mot *détonner*, par analogie avec celui que manifeste une corde qui vibre pendant qu'on la détend.

Dans la parole, le son change de ton avec l'effet qu'on veut produire, et c'est en variant convenablement l'intonation que les orateurs, parfois, remuent si profondément leur auditoire. Cette variation du ton, dans le langage articulé, donne l'accentuation qui, avec le timbre, diversifie si bien les hommes. L'accentuation est l'effet de l'habitude, de l'éducation et de l'idiome.

Les sourds-muets de naissance qui parviennent à parler, prononcent tous les mots sur le même ton.

Le *chant*, enfin, consiste à produire des sons ayant entre eux les rapports déterminés de la gamme. Ce n'est qu'avec un grand exercice du larynx que les personnes, douées d'ailleurs d'une bonne organisation musicale, parviennent à disposer instantanément toutes les parties de leur organe pour un ton donné.

Du timbre de la voix. — Le timbre, au caractère duquel on reconnaît la personne qui parle, paraît dépendre des vibrations des divers éléments de l'appareil vocal, et peut changer avec les dispositions très variées qu'on arrive à leur donner. C'est ainsi que certains individus, doués d'une certaine souplesse d'organe, peuvent imiter plusieurs voix.

Lorsqu'aux sons vocaux s'ajoutent les vibrations de l'air, du pharynx, de la bouche et des fosses nasales plus ou moins fermées, celles de la glotte, de l'épiglotte, des replis épiglottiques, du voile du palais plus ou moins abaissé, on obtient

(1) DIDAY et PÉTREQUIN, dans leur mémoire *sur le mécanisme de la voix de fausset*, formulent leur théorie en ces termes : « Pour donner les sons de fausset, la glotte se place dans un état tel que les cordes vocales ne puissent plus vibrer à la manière d'une anche. Son contour représente alors l'embouchure d'une flûte ; et, comme dans les instruments de ce genre, ce n'est plus par les vibrations de l'ouverture, mais par celles de l'air lui-même que le son est produit. » (Voy. année 1844, p. 135, *Gaz. méd. de Paris.*)

des timbres excessivement variés et dont la cause est la même que pour les instruments à vent, c'est-à-dire la coexistence de plusieurs ondes sonores d'intensité et de tons différents, qui modifient la forme générale de l'onde principale. Nous ajouterons même que c'est aux vibrations énergiques des lèvres de la glotte, fortement détendues, que les sons graves doivent surtout leur timbre particulier, celui des anches différant du timbre des sons aigus ou de fausset.

Le *timbre sombre* des musiciens paraît coïncider avec les vibrations de l'air du pharynx, et il est d'autant plus prononcé que le larynx est plus abaissé pendant le chant, et, par conséquent, que le tuyau pharyngien est plus long. Ce timbre est souvent favorisé par l'idiome : ainsi, les Provençaux, les Italiens emploient fréquemment le timbre sombre qui fait le caractère de la voix de divers chanteurs renommés, et contribue à son intensité par une plus grande étendue de l'appareil renforçant.

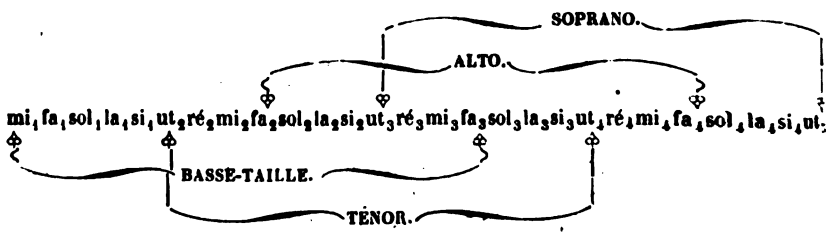
Dans le *timbre clair*, le larynx est élevé, et la cavité buccale ouverte forme seule la caisse sonore. Le Français chante presque toujours en timbre clair ; la langue française se prête difficilement au timbre sombre.

Lorsque, l'air passant par les fosses nasales, la bouche est fermée et résonne, le son n'est plus qu'une sorte de grognement très prononcé, comme cela s'observe chez le chien.

Si, la bouche étant ouverte, les fosses nasales sont plus ou moins fermées et entrent en vibration, le timbre est *nasillard*, ou, comme on le dit vulgairement, on chante du nez.

Ainsi, le timbre doit ses modifications à la nature des vibrations étrangères aux vibrations sonores principales; et cela explique bien pourquoi une personne peut avoir un chant très pur, avec une voix parlée très mauvaise, désagréable et souvent nasillarde, lorsqu'elle est obligée, pour prononcer certaines syllabes, de mettre en vibration des éléments qui ne fonctionnent pas pendant le chant.

De l'étendue de la voix. — On distingue, dans un chanteur, le *ton* de la voix qui est donné par le son le plus bas qu'il peut produire, et son *étendue* caractérisée par le nombre d'intervalles qu'il peut parcourir en montant du grave à l'aigu. Ces deux éléments sont très variables chez les divers chanteurs, et servent à classer ceux-ci, conformément au tableau suivant :



La voix peut avoir une étendue de deux à trois octaves et demie.

Le ton de voix est très différent pour les hommes et pour les femmes : en appelant ut_1 le son du tuyau d'orgue de huit pieds ouvert, qui est le premier *ut* de la basse et du piano à six octaves et demie, on trouve que les voix d'homme ont pour

toniques mi_1 (basse-taille) montant jusqu'au la_2 ; la_1 (baryton) s'élevant jusqu'au fa_3. Les ténors vont de ut_2 à ut_4.

La voix de femme n'a une gravité égale à celle de l'homme que chez certaines femmes à constitution virile.

Les voix de femme, des jeunes garçons et des castrats commencent entre fa_2 (alto) et ut_3 (soprano), et vont jusqu'au fa_4 (alto) ou la_4 (mezzo-soprano) ou ut_5 (soprano). Les quatre premiers sons manquent, en général, de force dans toutes les voix.

L'étendue complète des voix d'homme et de femme, prises ensemble, comporte à peu près quatre octaves.

J. Müller, à qui nous empruntons le tableau et la plupart des détails que nous venons de donner sur l'étendue de la voix, nous apprend que Fischer atteignait le *fa* de l'octave au-dessous d'ut_1 : la plus jeune des sœurs Sessi embrassait trois octaves et trois tons de ut_2 à fa_4 ; la Zelter, trois octaves ; la Catalani, trois et demie.

APPAREIL VOCAL ET VOIX DES OISEAUX.

Chez les oiseaux, les organes qui concourent à la production de la voix présentent une *conformation* notablement différente de celle des mêmes organes chez les mammifères. Le larynx est double, c'est-à-dire qu'il existe deux petits appareils dont la *structure* se rapproche plus ou moins de l'organe vocal des mammifères. L'un d'eux, et c'est le principal, occupe la partie inférieure de la trachée-artère, au niveau du point où se voit l'origine des deux bronches : on le désigne sous le nom de *larynx inférieur*. L'autre se trouve à l'origine de la trachée-artère, derrière la base de la langue : on l'appelle *larynx supérieur*. Entre les deux, existe un conduit membraneux et cartilagineux, dont les dimensions et la forme présentent de grandes variétés : c'est la *trachée-artère*. Chacun de ces trois organes prend une part dans la phonation, chacun d'eux mérite donc aussi d'être considéré à part.

I. Le *larynx inférieur* se rencontre dans toute la classe des oiseaux, à quelques rares exceptions près : ainsi, G. Cuvier (1) ne l'a pas trouvé chez le roi des vautours ; Rudolphi, dans le *vultur aura* ; Meckel, dans les autruches et les casoars. R. Wagner (2) en a constaté la présence chez les *vultur cinereus* et *fulvus*, ainsi que chez le gypaëte.

La situation du larynx inférieur présente quelques variétés : le plus souvent, cet organe occupe l'extrémité inférieure de la trachée au niveau de sa bifurcation et s'étend sur la base même des bronches qui participent un peu à sa formation. Dans le genre *stratornis*, il n'en est pas ainsi : le larynx inférieur est séparé de l'extrémité inférieure de la trachée par un certain nombre d'anneaux bronchiques, et conséquemment appartient aux bronches, et nullement à la trachée elle-même. Dans les genres *thamnophilus*, *myiothera* et *opethiorhynchus* (3), le larynx inférieur occupe exclusivement la partie inférieure de la trachée. On pourrait donc, en ayant égard simplement à la situation du larynx inférieur, distinguer cet organe

(1) *Leçons d'anatomie comparée*, 2e édition, t. VIII, p. 742.
(2) *Icon. Zool.*, pl. XII, fig. 30 et 31.
(3) J. MÜLLER. *Stimmorgan der Passerinen*, p. 6. Berlin, 1845.

en larynx *bronchique*, larynx *trachéen* et larynx *broncho-trachéen*. Nous nous occuperons exclusivement de cette dernière variété, qui est la plus commune.

Le larynx inférieur semble être, dans ce cas, une modification de la trachée-artère. Les derniers anneaux de ce conduit se rapprochent ou se soudent ensemble; ils présentent un aplatissement plus ou moins marqué d'avant en arrière, ou bien ils sont comprimés latéralement. L'extrémité inférieure de la trachée, ainsi modifiée, se nomme le *tambour*. L'ouverture inférieure du *tambour* est partagée en deux ouvertures secondaires, tantôt par une languette osseuse ou cartilagineuse dirigée d'avant en arrière, tantôt simplement par l'angle de réunion de la partie interne des bronches. Ces dernières sont formées d'arcs osseux ou cartilagineux, et nullement d'anneaux complets; c'est en dedans que les anneaux laissent un intervalle occupé par une portion membraneuse que G. Cuvier a désignée sous le nom de *membrane tympaniforme*. Les parois internes des deux bronches sont réunies entre elles par des fibres élastiques plus ou moins fortes qui, au lieu de bifurcation, forment souvent des bourrelets plus ou moins considérables. Chez le *dindon* (1), ces bourrelets renferment un tissu élastique dont les fibres appartiennent à la deuxième variété de ce même tissu, admise par Henle.

D'après Dugès (2), une vésicule aérienne, communiquant avec les poumons, occupe constamment l'angle de réunion, l'espace intermédiaire aux deux membranes tympaniformes; et cette disposition serait de nature à expliquer comment l'animal pourrait devenir muet, si l'on ouvrait la grande vésicule aérienne qui occupe la partie la plus avancée de la poitrine, et s'étend jusqu'aux branches de la fourchette ou clavicule.

Le premier des arcs des bronches a la même courbure que la trachée; le second et le troisième appartiennent à des cercles plus grands, et sont moins convexes en dehors. Ils présentent en dedans une saillie qui est surmontée par un repli de la muqueuse trachéo-bronchique, susceptible de vibrer. Ce repli est doublé d'un tissu élastique qui ressemble à celui des cordes vocales inférieures des mammifères. Il existe également un peu de tissu élastique sur la membrane tympaniforme; de telle façon que, chez les oiseaux chanteurs indigènes et quelques oiseaux chanteurs exotiques, on trouve, de chaque côté de l'extrémité inférieure de la trachée, une glotte composée de deux lèvres ou de deux cordes vocales.

Telle est la conformation du larynx inférieur des oiseaux chez lesquels cet appareil a atteint un haut degré de perfection.

Mais, sous le rapport de la structure du précédent organe, il y a de grandes différences à établir parmi les oiseaux, et l'on peut diviser les larynx inférieurs en deux classes : les larynx privés de muscles *propres*, et les larynx qui en sont pourvus.

A. Les premiers peuvent posséder des muscles *extrinsèques* qui meuvent la trachée; et comme la contraction de ces muscles exerce une influence sur l'état de la glotte, nous les indiquerons ici, au lieu de renvoyer leur description à celle de la trachée-artère.

Il y a deux paires de muscles abaisseurs de la trachée : les *sterno-trachéens* et les *ypsilo* ou *cléido-trachéens*. Les sterno-trachéens ont leur attache fixe au ster-

(1) SIEBOLD et STANNIUS. *Anatomie comparée*, traduct. par Spring et Lacordaire, t. II, p. 356.
(2) *Physiol. comparée*, t. II, p. 243.

num, à la face interne de ses angles latéro-supérieurs, leur attache mobile le long de la trachée, à des points différents selon les espèces; les fibres de ces muscles se prolongent plus ou moins haut. Les ypsilo-trachéens ou cléido-trachéens ont leur attache fixe à l'os en forme d'Y grec ou de fourchette que l'on trouve chez les oiseaux, leur attache mobile à la trachée. Toutefois, les muscles précédents manquent à un certain nombre d'espèces.

Il n'existe pas de muscles élévateurs propres : c'est le mylo-hyoïdien qui produit l'élévation de la trachée, au moyen de ligaments qui unissent l'os hyoïde au larynx supérieur.

L'action simultanée de tous ces muscles produit l'allongement de la trachée ; leur repos simultané la raccourcit. Reste à déterminer l'action exercée par eux sur l'état de la glotte :

1° Quand la trachée s'élève, les bronches sont tiraillées, le second et le troisième anneau bronchique s'éloignent du premier; la saillie de la glotte diminue et sa tension augmente.

2° Lorsque la trachée s'abaisse, les bronches se relâchent, leurs anneaux se rapprochent et la glotte est allongée et détendue. Ce mécanisme, d'après G. Cuvier (1), rendrait compte de la possibilité qu'ont certains oiseaux de modifier l'état de leur glotte en l'absence de muscles propres au larynx inférieur.

Les larynx inférieurs, qui ne sont pas pourvus de muscles propres, peuvent être divisés en deux groupes : les uns offrent des dilatations latérales, d'autres en sont privés. Le tambour présente des dilatations non pas seulement dans les espèces de deux genres, les canards et les harles, ainsi que Cuvier (2) l'a avancé; mais dans quelques autres espèces encore : ainsi Yarrelle (3) en a trouvé dans l'*Anser gambensis;* Tschudi (4) dans le *Cephalopterus ornatus*, etc. D'après Cuvier, plusieurs espèces, appartenant au genre des canards, en sont dépourvues. Un fait constant, c'est que les cavités qui forment les dilatations ne sont jamais symétriques; la cavité du côté gauche l'emporte en volume sur celle du côté droit. Cette disposition est surtout manifeste dans le canard domestique. La structure de ces cavités est tantôt osseuse, tantôt à la fois membraneuse et osseuse. Les dilatations entièrement osseuses ont, en général, une forme sphéroïdale; c'est ce que l'on observe dans l'*Anas boschas*, l'*Anas montana*, etc. Il y a des oiseaux chez lesquels ces dilatations sont pyriformes, dans l'*Anas crecca* par exemple. Si j'insiste sur ces dilatations que présente le larynx inférieur de quelques oiseaux, c'est que Cuvier leur a attaché une grande importance. Elles expliqueraient, suivant lui, la différence qui existe entre la voix des mâles et celle des femelles : on sait que ces dernières ont la voix aigre et aiguë, tandis que les mâles ont la voix enrouée et sourde.

Le larynx inférieur, sans muscles propres et sans dilatations latérales, se trouve dans un grand nombre d'oiseaux : il faut citer tout l'ordre des gallinacés, les dindons, les pintades, les paons, les coqs, les faisans, les perdrix, etc. La conformation du larynx offre quelques variétés dans ces espèces, mais le caractère général c'est que la traverse, qui se voit au bas de la trachée, est située plus bas que le dernier anneau auquel elle tient, d'où il résulte que les membranes qui constituent la

(1) *Loc. cit.*
(2) *Ouv. cit.*, t. VIII, p. 746.
(3) *Ann. and magaz. of natur.*, hist. IX, p. 147.
(4) MULLER'S *Archiv*, p. 473. 1843.

glotte n'interceptent qu'une seule ouverture au lieu d'en former deux, comme dans les cas précédents.

B. Les larynx inférieurs, pourvus de muscles propres, s'observent chez les oiseaux dont la voix est le plus perfectionnée. Ces muscles impriment, en effet, au petit appareil phonateur des modifications qui ont pour but de changer son degré de tension et sa longueur. Il en résulte que l'état du larynx peut être modifié indépendamment des mouvements de la trachée, et pendant que celle-ci reste complétement immobile. Ici, il y a encore de grandes différences entre les divers oiseaux, sous le point de vue du nombre plus ou moins considérable de muscles dont leur larynx inférieur est pourvu; et sous ce rapport j'admettrai, avec Cuvier, trois divisions, suivant qu'il existe une seule paire de *muscles propres*, trois ou cinq paires de ces muscles.

a. — Lorsque le larynx ne présente qu'une seule paire de muscles, c'est-à-dire un muscle de chaque côté, chacun d'eux s'insère d'une part à la trachée, de l'autre à l'un des demi-anneaux de la bronche correspondante; leur contraction simultanée a pour résultat de faire remonter les premiers anneaux des bronches vers la trachée. Tantôt le muscle dont il s'agit s'attache au premier ou au deuxième demi-anneau bronchique, comme chez les aigles, les faucons, les gerfauts, les hobereaux, les buses, les éperviers, les autours, les griffons, le vautour brun; tantôt il s'insère au troisième demi-anneau, chez le martin-pêcheur, l'engoulevent; ou bien au cinquième demi-anneau, chez les hérons, les butors, le coucou, le grand-duc; ou bien enfin au septième demi-anneau, chez la chouette, la hulotte.

b. — Le larynx inférieur est pourvu de trois paires de muscles, chez le perroquet, et sa conformation présente quelques particularités. Ainsi les anneaux terminaux de la trachée sont soudés ensemble, et le dernier est presque carré, sans être muni d'une cloison. Les bronches forment deux tubes membraneux, garnis de pièces cartilagineuses. Le premier demi-anneau est plat, élargi, et a presque la forme d'un croissant dont le côté convexe est tourné en haut; les pointes sont aiguës et tournées en bas; les trois demi-anneaux suivants sont plats et soudés en une plaque demi-circulaire. Le côté convexe de cette plaque, au lieu d'être tourné en haut comme le premier demi-anneau, est dirigé en bas. Les cinquième, sixième et septième demi-anneaux sont soudés à la plaque précédente, et entre eux, dans le milieu seulement. Les anneaux qui suivent ont la forme ordinaire jusqu'au niveau du point où la bronche entre dans le poumon. Le côté par lequel les bronches se regardent est membraneux, et les deux membranes, au lieu de rester distinctes, s'unissent à la hauteur des pointes du premier demi-anneau, de manière à ne constituer qu'un seul et même canal jusqu'au niveau de la trachée. C'est le rétrécissement que ce canal éprouve entre les bords inférieurs de ce demi-anneau, que l'on peut considérer comme la glotte de ce larynx (1). Les muscles annexés à ce petit appareil sont de chaque côté : un muscle constricteur principal, un muscle constricteur auxiliaire et un muscle laxateur de la glotte.

c. — Le larynx inférieur est muni de cinq paires de muscles chez les oiseaux chanteurs : à ce groupe se rattachent les rossignols, les fauvettes, les merles, les chardonnerets, les alouettes, les linottes, les serins, les pinçons, les hirondelles, le

(1) Pour la conformation du larynx du perroquet, voy. Dugès, *Physiologie comparée*, t. I, fig. 270 et 271.

moineaux, les étourneaux, les gros-becs, les geais, les pies, les corbeaux. Chez ces animaux, les derniers anneaux de la trachée se réunissent en une pièce de longueur variable, à peu près cylindrique dans le haut, évasée par en bas, où elle présente deux pointes obtuses, une antérieure, l'autre postérieure, qui sont réunies par un osselet transversal; de telle façon que la trachée s'ouvre inférieurement par deux trous ovales communiquant avec les bronches séparément. Les trois premiers anneaux de chaque bronche sont plus rapprochés et plus plats que les suivants; ils vont, en s'allongeant par derrière, du premier au troisième; le quatrième anneau diminue subitement. Le premier anneau s'articule, par son extrémité antérieure, avec un petit cartilage ovale, qui est scellé à la membrane tympaniforme, et il fait en dedans une saillie qui est la lame vibrante ou la partie essentielle du larynx. L'entrée de l'air dans la trachée se fait par deux trous ovales, garnis, chacun à son bord externe, d'une lame saillante. Les cinq muscles qui existent de chaque côté de ce larynx sont : le *muscle releveur longitudinal des demi-anneaux*, le *muscle releveur postérieur des demi-anneaux*, et le *petit releveur*, dont la contraction a pour résultat de faire saillir la petite lame de la glotte; le *releveur oblique* et le *releveur transversal*, qui ont surtout pour action de tendre avec force, et dans le sens transversal, la partie supérieure de la membrane tympaniforme. Tous ces muscles s'insèrent, d'une part, à la trachée, et de l'autre à l'un des premiers anneaux de chaque bronche correspondante.

II. La *trachée-artère* des oiseaux est formée d'anneaux cartilagineux ou osseux entiers; et, sous ce rapport, il y a une différence bien frappante avec la trachée-artère des mammifères, dont les anneaux forment des portions de cercle. Elle offre une grande largeur; la division de ce canal en bronches n'a lieu qu'à l'entrée du thorax, excepté chez les colibris, où la division s'effectue vers le milieu du cou. La longueur absolue de la trachée dépend donc, en général, de la longueur du cou de chaque oiseau. Chez quelques uns des animaux appartenant à cette classe, la longueur de la trachée est considérablement accrue par le fait de l'existence de replis et de circonvolutions, comme dans le coq de bruyère, les hocços, les pénélopes, les hérons, les butors, les cigognes, les grues, les cygnes. D'après G. Cuvier (1), ces contours se rencontrent principalement chez les mâles.

Les anneaux qui entrent dans la constitution de la trachée sont plus ou moins nombreux : chez quelques passereaux, on n'en trouve que trente à quarante; les gallinacés en ont de cent à cent trente; la cigogne en a environ cent quarante; le héron près de deux cents; le flamant et la grue environ trois cent cinquante.

J'ai dit que les anneaux sont complets; il y a pourtant quelques exceptions à cette règle chez l'huîtrier, les œdicnèmes, les vautours, les manchots, etc. (2). Ces anneaux sont tantôt mous et cartilagineux, tantôt osseux en tout ou en partie. Les oiseaux chanteurs ont les anneaux de la trachée très minces, et les membranes qui les unissent flexibles et minces aussi. Les oiseaux de rivage et les palmipèdes ont les anneaux larges, presque contigus, et recouverts les uns par les autres.

Le casoar de la Nouvelle-Hollande présente une conformation spéciale : plusieurs des anneaux moyens de la trachée sont fendus en avant, de manière à circonscrire

(1) *Ouv. cit.*, t. VIII, p. 765.
(2) SIEBOLD et STANNIUS, *ouv. cit.*, t. II, p. 349.

une ouverture ovale à laquelle s'adapte un sac du volume d'une tête d'homme, que l'animal peut remplir d'air à volonté (1).

Chez les mâles de plusieurs plongeons et canards, on trouve des dilatations à la partie moyenne de la trachée.

La forme de ce conduit présente des variétés que l'on peut, avec G. Cuvier (2), rapporter aux quatre types suivants :

1° Trachées *cylindriques :* ce sont les plus nombreuses; elles se voient chez les oiseaux chanteurs, les oiseaux de rivage qui ont la voix grêle et flûtée, beaucoup d'oiseaux de proie et de gallinacés.

2° Trachées *coniques :* elles représentent des cônes dont la partie élargie est tournée du côté de la bronche. Les dindons, les hérons, les butors, l'oiseau royal, le cormoran, le fou, se rapportent à ce groupe.

3° Trachées à *renflements subits :* ce sont les plus rares; on les observe chez le garrot, la double macreuse.

4° Trachées à *renflements insensibles :* le genre des harles, les canards mâles.

Chez quelques oiseaux, la trachée est divisée en deux moitiés latérales par une cloison. Cette cloison a été observée chez le pingouin par Jœger (3), chez les pétrels par Meckel; d'après ce dernier anatomiste, il en existe également des vestiges chez l'*Anas clangula.*

Je ne reviendrai pas sur les muscles de la trachée, qui ont été décrits plus haut avec le larynx inférieur. J'ajouterai seulement que les muscles que l'on rencontre le plus souvent sont les sterno-trachéens. Les ypsilo-trachéens manquent chez les rapaces, les pigeons, les autruches, les scolopacidées, les fulicariées, etc.

III. Le *larynx supérieur* occupe la partie la plus élevée de la trachée, derrière la base de la langue. Son ouverture présente la forme d'une fente longitudinale à la partie postérieure de laquelle se rencontrent des papilles épithéliales de forme variable. Au niveau de cette ouverture, il n'existe pas de repli précisément assimilable à l'épiglotte des mammifères; on trouve néanmoins quelquefois un cartilage qui paraît tenir lieu de cet opercule.

Le larynx supérieur est formé de quatre ou six pièces. La principale est l'analogue du cartilage thyroïde; le cartilage cricoïde et les cartilages aryténoïdes constituent les autres pièces.

Le *cartilage thyroïde* est formé d'une portion principale antérieure et de deux portions postérieures moins élevées; ces dernières ne se rejoignent pas sur la ligne médiane. Au bord supérieur du thyroïde, se montre parfois une apophyse épiglottique ordinairement cartilagineuse, rarement ossifiée. Cette apophyse est aplatie, large et entièrement osseuse dans la cigogne et le héron; dans les gallinacés, les canards et les mouettes, elle est molle et mince (4). Chez quelques échassiers et palmipèdes, on trouve une sorte de cartilage épiglottique distinct, uni par une suture au cartilage thyroïde. Dans quelques genres, canards, cygnes sauvages, cigognes, grues, fruigelles, la face interne du cartilage thyroïde est divisée dans sa longueur par une crête médiane cartilagineuse.

Le *cartilage cricoïde*, à l'état rudimentaire, ne forme pas un anneau com-

(1) CARUS, *Anatomie comparée*, t. II, p. 214, et FRÉMERY, *De casuario Novæ-Hollandiæ*. Trajecti, 1819.

(2) *Ouv. et l. cit.*, p. 766.

(3) MECKEL'S *Archiv*, 1832, IV, p. 48.

(4) HENLE, *Vergleich. anatomisch. Beschreib. des Kehlkopfes*. Leipzig, 1839, pl. V, fig. 22-24.

plet comme dans les mammifères; il est logé entre les bords internes des portions postérieures du cartilage thyroïde. De chaque côté de son bord supérieur, existe une facette articulaire pour les cartilages aryténoïdes.

Les *cartilages aryténoïdes* sont grêles, allongés, triangulaires; ce sont eux qui limitent l'ouverture ou la fente que présente le larynx supérieur.

Le larynx supérieur des oiseaux diffère de celui des mammifères par l'absence de cordes vocales. Quelquefois pourtant on rencontre des plis longitudinaux étendus entre les extrémités des cartilages aryténoïdes, et qui s'insèrent dans la cavité du larynx, sur la saillie longitudinale que présente la face interne du cartilage thyroïde (1).

Chez tous les oiseaux, il existe trois paires de muscles annexés au larynx supérieur: les muscles *trachéo-hyoïdiens* qui l'élèvent en même temps que la trachée; les *muscles thyro-aryténoïdiens postérieurs* qui le dilatent; et les muscles *thyro-aryténoïdiens latéraux* qui le resserrent.

Production de la voix chez les oiseaux.

G. Cuvier attachait une grande importance à l'étude de la voix des oiseaux : il a consacré, à ce sujet, un chapitre entier de son *Anatomie comparée* (2), et a entrepris des expériences qui ont puissamment contribué à éclairer cette difficile question.

L'appareil vocal des oiseaux paraissait à notre illustre naturaliste plus simple que celui des mammifères, et plus conforme à quelques uns de nos instruments de musique. « Nous sommes bien éloignés, dit-il, d'avoir une théorie aussi complète de ceux-ci (les mammifères) que des précédents (les oiseaux), ni de pouvoir observer une marche aussi ferme dans leur description. »

Nous ne partageons pas complétement cette opinion; car le larynx double des oiseaux nous paraît une difficulté de plus à surmonter. Si l'on ne considère que cette classe particulière d'oiseaux, les *gallinacés*, qui n'ont véritablement qu'une glotte surmontée d'un tuyau sonore, fermé partiellement à sa partie supérieure, c'est avec raison qu'on place un tel appareil le premier pour la simplicité; mais, si l'on cherche, au contraire, à déterminer le jeu simultané des deux larynx, on éprouve des difficultés d'autant plus grandes que les physiciens ne se sont pas occupés de tuyaux ainsi embouchés.

G. Cuvier a prouvé, à l'aide d'expériences nombreuses et faciles à répéter, que le larynx inférieur des oiseaux est exclusivement le siége de la voix, ou mieux l'origine des vibrations vocales. Il a coupé la trachée d'un merle vivant, au milieu de sa longueur, et l'animal a continué de pousser des cris plaintifs. La même opération a réussi sur une pie, dont les cris n'ont été ni moins forts, ni moins aigus, après qu'avant la vivisection. Le bout supérieur de la trachée ayant été volontairement oblitéré, il n'est survenu aucun changement dans les sons, qui ont duré pendant dix minutes, jusqu'à ce qu'un caillot de sang eût étouffé l'animal. Une cane, à laquelle on avait coupé la trachée transversalement, criait encore avec autant de force et avec le même timbre. Après avoir bouché la partie supérieure du larynx d'une cane ainsi opérée, et lui avoir lié le bec pour empêcher

(1) SIEBOLD et STANNIUS, *ouv. et t. cit.*, p. 348.
(2) T. VIII, p. 730 et p. 772, deuxième édition.

toute communication avec la partie inférieure, les cris n'ont diminué ni en force ni en étendue.

Nous avons répété, avec succès, toutes ces expériences : le larynx supérieur d'une cane a été incisé largement dans le sens de son axe, et la voix n'a pas été modifiée. Après avoir coupé la trachée au milieu de sa longueur, nous avons, pour rendre la respiration plus facile, attaché, à l'aide d'un crochet et d'un fil, l'extrémité ouverte de la partie inférieure de ce conduit, sur le cou, et abandonné l'animal à lui-même. Il a continué à crier; sa voix paraissait néanmoins un peu plus grave; ce qui peut tenir au relâchement des muscles du larynx résultant de l'affaissement de la trachée. Nous avons alors lié le bec, sans que l'animal cessât de produire des sons. Comme, pendant le cri, les poches aériennes étaient fortement tendues, il était permis de leur supposer une influence sur la voix; elles ont été perforées, et l'oiseau a encore proféré des cris éclatants.

Savart (1), ayant divisé les filets nerveux qui longent la trachée et se distribuent au larynx inférieur, a constaté que les sons étaient devenus plus faibles, voilés et analogues à ceux d'une anche, ce qu'il attribue au relâchement des cordes qui forment la glotte.

Il résulte de ces diverses expériences que la glotte inférieure est seule nécessaire, avec le tuyau trachéen, à la production de la voix des oiseaux, et que le larynx supérieur est seulement utile pour la variation et la modulation des sons sur lesquels les poches aériennes n'ont aucune influence.

L'organe vocal des oiseaux est donc essentiellement constitué, comme celui des mammifères, d'*un ou de deux orifices sonores*, et d'un tuyau renforçant destiné à la détermination des tons. On y rencontre, en outre, un larynx supérieur qui agit comme la glotte supérieure de quelques mammifères, pour modifier le ton du tuyau sonore en influant en même temps sur l'écoulement de l'air.

Nous ne saurions trop insister sur ces principes généraux qui ramènent à une même cause des phénomènes qu'on avait trop séparés jusqu'à présent.

Théorie de G. Cuvier. — « L'instrument vocal des oiseaux, dit cet anatomiste, est un tube à l'embouchure duquel est une anche membraneuse, ou, pour parler plus exactement encore, *deux lèvres* qui représentent celles du joueur de cor de chasse.

» Cette *anche* peut être raccourcie ou allongée dans le sens de sa hauteur, et tendue ou relâchée dans le sens transversal. Cet allongement et ce relâchement rendent les sons plus graves; le raccourcissement et la tension rendent les sons plus aigus. A ces deux sources de modifications se joignent les changements de largeur de l'ouverture et les différentes vitesses de l'air qui en résultent; mais tant qu'il n'y a que l'anche de changée, et que la largeur de la trachée et son orifice supérieur restent les mêmes, les variations de sons seront bornées aux *harmoniques* du son le plus grave (2). »

A ces causes qui peuvent influencer sur le ton de la voix des oiseaux, G. Cuvier ajoute les variations de longueur de la trachée, et l'occlusion plus ou moins complète de ce tuyau par le larynx supérieur.

On voit qu'ici Cuvier a donné, non pas une théorie de la voix, mais une

(1) *Mémoire sur la voix des oiseaux*. Dans Ann. de phys. et de chim., t. XXXII, p. 1[illegible].
(2) G. CUVIER, ouv. cit., t. VIII, p. 737.

simple comparaison; qu'il s'est contenté de ranger l'organe vocal des oiseaux dans la classe des instruments à bouche, de la nature des cors ou des trompettes, auxquels il réunit à tort, selon nous, les instruments d'orgues nommés *jeux d'anche*. Par cette addition, il diminue autant l'importance de sa comparaison, que par l'explication qu'il donne de la production des sons dans les instruments à bouche, en les attribuant aux vibrations des lèvres qui se comportent comme les lames des tuyaux à anche.

Les détails qui ont été donnés précédemment sur ces instruments sonores rendent inutiles les observations que nous pourrions faire sur la théorie physique des instruments à vent, admise par G. Cuvier, et qu'on ne saurait appliquer aux lèvres si petites de la glotte des oiseaux. On ne peut admettre que ces ligaments, si fins et si courts, puissent, par eux-mêmes, produire des sons aussi intenses que ceux de la plupart de ces animaux. D'autre part, pour une ouverture et une tension déterminées de la glotte, les oiseaux ne pourraient faire entendre qu'un son, comme dans les tuyaux à anche solide ou membraneuse, et ne produiraient pas les harmoniques du son fondamental, comme le suppose Cuvier, et comme l'a constaté Savart (1) : ayant rapidement enlevé la trachée-artère et les bronches d'un oiseau chanteur qu'il avait fait périr à l'instant même, Savart avait obtenu, en soufflant dans cet organe, le même son que celui arraché à l'animal par la frayeur peu d'instants avant sa mort; puis, en variant la vitesse du vent, il avait obtenu tous les sons possibles compris dans un intervalle d'environ une octave et demie. Cette expérience, faite sur des merles, des étourneaux, des linottes, etc., prouve que des sons, très éloignés les uns des autres, peuvent être produits par le larynx inférieur des oiseaux, sans que l'état de cet organe subisse aucun changement important.

Tout en laissant à Cuvier le mérite de sa comparaison, les précédentes considérations ne permettent pas d'assimiler la glotte des oiseaux à une anche ordinaire, susceptible de vibrations sonores.

Théorie de Savart. — Il est incontestable que Savart a tracé et suivi la véritable route dans la recherche des causes qui produisent la voix chez les oiseaux. Ce physicien s'est élevé à une grande hauteur de conception et de vue dans ses travaux anatomiques, ses comparaisons et sa théorie que d'autres expériences projetées auraient élevée au rang des vérités les mieux établies. Pour ne pas altérer la netteté et la précision de langage, dans un travail qui a occupé Savart pendant de longues années, nous croyons rendre service au lecteur en reproduisant la partie de son mémoire dans laquelle il explique la formation de la voix chez les oiseaux :

« En supposant, dit-il, le tuyau vocal des oiseaux embouché à la manière de nos tuyaux d'orgues, il devrait donc, par de simples variations dans sa tension, être susceptible de produire plusieurs sons, en général plus graves que celui que la colonne d'air qu'il contient ferait entendre dans un tube de même dimension, opposant une résistance invincible au mouvement. Mais son mode d'embouchure, qui n'a point d'analogue dans nos instruments de musique, présente une disposition particulière d'où il résulte, de la part des parois du tube, une influence beaucoup plus considérable sur le nombre de vibrations de la colonne d'air. Comme

(1) *Mém. cit., p. 122.*

nous l'avons vu plus haut, l'extrémité supérieure de chaque bronche présente un rétrécissement produit en dedans par l'aryténoïde et les bourrelets de la lèvre interne, en dehors par le cordon vocal externe et le mouvement de rotation du troisième osselet qui porte ce cordon en dedans; et de ces mouvements combinés, il résulte que la partie membraneuse et supérieure de ce petit tuyau affecte des tensions d'autant plus grandes que le passage que l'air traverse devient plus étroit : on conçoit que, par cette disposition, les membranes excessivement minces qui entourent le larynx doivent entrer en vibration bien plus facilement que ne le peuvent faire les parois cylindriques, ou même planes d'un tuyau ordinaire. On peut se faire une idée de ce mode d'embouchure par l'expérience suivante, qui est plus connue des enfants que des physiciens. Si l'on prend une tige creuse de quelque plante, qu'on la saisisse entre les lèvres en la comprimant légèrement ; qu'ensuite on y fasse passer un courant d'air, il se produit des sons qui ont une gravité extraordinaire, eu égard à la longueur et au diamètre de la colonne d'air. Il est évident que les parois du tube entrent très fortement en vibration; car on les sent frémir sous les lèvres et entre les doigts qui les touchent. Un pareil tuyau, d'un très petit diamètre, et d'environ deux pouces de longueur, peut donner des sons aussi graves que ceux de la voix humaine. Par de simples variations apportées dans la vitesse du courant d'air, on peut ainsi produire quatre ou cinq sons autour de celui qui sort le plus facilement.

» Il semble que la production même du son dans cette circonstance puisse s'expliquer de la manière suivante : La partie du tube qui est dans la bouche conserve d'abord sa cylindricité, elle s'aplatit ensuite légèrement entre les lèvres; or, comme le tube est élastique, cette portion aplatie tend à revenir à sa première forme, en même temps que l'air, poussé avec force, conspire à produire un effet semblable: cet effet a donc lieu en partie parce que les lèvres, comme corps élastiques, cèdent à la pression, mais ensuite elles réagissent; puis le tube est de nouveau dilaté, et ainsi de suite. En même temps que les lèvres rétrécissent le tuyau par leur réaction, l'air se comprime dans la partie du tube que la bouche contient, et il se dilate, au contraire, quand les lèvres cèdent à la tendance des parois pour revenir à leur position naturelle : il résulte de cette double action que la colonne d'air et les parois du tube sont ébranlées en même temps avec beaucoup de force, et qu'en conséquence le son acquiert beaucoup d'intensité. Chez les oiseaux, le rétrécissement du canal étant produit par des cordons élastiques réunis aux parois mêmes du tuyau, cette disposition est sans doute beaucoup plus favorable à la production de l'effet que nous venons d'indiquer.

» On a voulu comparer l'embouchure du tuyau vocal des oiseaux à une anche libre; mais il est évident, d'après ce que nous venons de dire des tuyaux élastiques, que cette comparaison n'est pas exacte. D'ailleurs, si elle l'était, les oiseaux ne pourraient faire entendre qu'un seul son à l'occasion d'une ouverture déterminée des lèvres de leur glotte; mais l'expérience montre qu'il n'en est pas ainsi. En effet, si l'on enlève avec promptitude la trachée-artère et les bronches d'un oiseau chanteur qu'on vient de faire périr à l'instant même, qu'on souffle de l'air dans cet organe, on entend aussitôt un son, qui est ordinairement le même que celui que la frayeur arrachait à l'animal peu d'instants avant sa mort; et ensuite si l'on varie la vitesse du courant d'air, on peut ainsi produire tous les sons possibles compris dans un intervalle d'environ une octave et demie. Cette expérience que j'ai faite sur des merles, des étourneaux, des linottes, des chardonnerets, de

alouettes, etc., montre que plusieurs sons très éloignés les uns des autres peuvent être donnés par le larynx inférieur des oiseaux, sans que l'état de cet organe subisse aucun changement important : on sait que les anches ne donnent, au contraire, qu'un seul son qui n'est que très légèrement influencé par la vitesse plus ou moins grande du courant d'air.

» Une dernière preuve que les membranes élastiques jouent un rôle important dans la production des sons par le larynx inférieur des oiseaux, c'est l'existence de cette petite membrane placée au-dessus de la traverse osseuse du tambour, membrane qui ne se trouve bien développée que chez les oiseaux qui chantent le mieux, ou qui peuvent facilement apprendre à parler, et qui n'existe chez aucun de ceux qui sont privés de ces avantages. Pour découvrir le rôle que joue cette petite cloison membraneuse, il faut disposer d'une manière analogue un ruban étroit et mince, de baudruche, par exemple, à l'orifice d'un petit tube cylindrique à travers lequel on fait passer un courant d'air ; il se produit, par ce procédé, des sons fort graves et très intenses relativement à la longueur et au diamètre du tube ; le degré qu'ils occupent dans l'échelle musicale dépend de la tension de la membrane et de la vitesse du courant d'air. Sous l'influence de ces deux causes, le son peut varier de plus d'une octave. Chez les oiseaux, cette membrane étant composée de deux feuilles qui ne sont que la continuité des membranes tympaniformes, la lèvre interne de la glotte ne peut pas se tendre et l'orifice de chaque bronche ne peut pas se rétrécir, sans que la membrane semi-lunaire se tende aussi; réciproquement, quand la glotte s'ouvre, tout l'appareil se trouve détendu. Ainsi, en vertu des lois de la communication des vibrations, si quelqu'une de ces parties est d'abord ébranlée, toutes les autres doivent participer à son mouvement; et comme elles tiennent aux parois mêmes du tuyau vocal, tout ce système doit résonner conjointement avec la colonne d'air et en influencer beaucoup le nombre des vibrations.

» La gravité des sons que peuvent produire les oiseaux n'est donc plus un phénomène inexplicable : elle dépend évidemment de l'élasticité des parois du tuyau vocal et de son mode d'embouchure; mais ce tuyau présente encore une autre particularité importante à examiner, c'est qu'il est armé d'une double embouchure, disposition qui contribue beaucoup à l'intensité du son et à sa pureté. En effet, si l'on construit un tuyau d'orgues en forme d'Y, et portant une embouchure à chacune de ses deux petites branches, les qualités du son sont très différentes selon qu'on souffle dans un de ces petits tuyaux ou dans les deux à la fois : dans ce dernier cas, il acquiert une intensité et une rondeur dont il est bien loin dans le premier, et dont les tuyaux d'orgues ordinaires n'approchent jamais. Cet effet tient sans doute à ce que les ondulations parties de chacune des embouchures se superposent parfaitement dans toute l'étendue du système, ce qui augmente l'amplitude des oscillations des particules de l'air. Les sons produits ainsi peuvent acquérir de l'intensité par l'accélération du courant d'air, sans que le ton monte sensiblement; et quand on veut faire produire en même temps des sons différents aux deux embouchures, on ne peut pas y réussir; le plus grave étouffe toujours le plus aigu, qui se met tout de suite à l'unisson. Il est donc évident, d'après cela, que c'est principalement à la double embouchure de leur tuyau vocal que les oiseaux doivent la faculté d'émettre des sons si remarquables par leur intensité. Cette expérience serait susceptible de plusieurs applications : on voit d'abord qu'il y aurait de l'avantage à mettre une double embouchure tuyaux d'orgues fort

longs qui, comme on sait, parlent toujours très difficilement et ne donnent que des sons sourds et peu agréables. On conçoit ensuite que, par ce procédé, on pourrait perfectionner les cornets acoustiques, les porte-voix et les stéthoscopes.

» Il était d'autant plus nécessaire que le tuyau vocal des oiseaux présentât un moyen particulier pour le renforcement du son, qu'il est d'un diamètre très petit relativement à sa longueur; car on sait que les tuyaux dont la longueur est au diamètre environ comme 30 ou 40 est à 1, parlent avec beaucoup de peine, surtout quand on veut leur faire rendre leur son fondamental : c'est là justement le cas de la trachée-artère des oiseaux. En outre, le peu de volume de la colonne d'air semble être par lui-même un obstacle à la production des sons. Mais l'expérience montre que des tuyaux faits avec des tubes capillaires de mêmes dimensions que la trachée de nos petits oiseaux, peuvent non seulement donner avec facilité leur son fondamental, mais encore que ce son est beaucoup plus intense qu'on n'aurait pu le présumer.

» Tels sont, en général, les faits sur lesquels il nous paraît que doit reposer l'explication du mécanisme de la voix des oiseaux. On conçoit, en effet, que chez ceux dont le larynx est privé de muscles propres, comme les coqs, les perdrix, les dindons, les cailles, etc., et dont la trachée est rétrécie inférieurement, ou bien dont les bronches présentent un rétrécissement vers leur partie supérieure, l'organe est réduit à un véritable tuyau à parois membraneuses et élastiques, ébranlé par le courant d'air : en conséquence, le nombre des sons possibles doit être très limité, puisqu'il dépend uniquement de la vitesse du courant d'air, et de l'influence que les puissances qui élèvent ou qui abaissent la trachée peuvent exercer sur la tension de la partie membraneuse de l'organe. Ainsi, les sons seront d'autant plus graves que la trachée sera plus longue, que son diamètre sera plus considérable, et qu'elle sera formée de parois plus minces.

» Chez les oiseaux dont le larynx présente un ou deux muscles propres susceptibles d'apporter des variations dans le diamètre de la glotte et dans la tension de l'extrémité inférieure de la trachée, le nombre des sons possibles deviendra plus grand, et les diverses intonations devront se faire avec moins d'effort de la part des organes qui servent à l'expiration. Chez certains oiseaux de cette classe, on rencontre une disposition particulière qui doit même leur permettre de varier les sons jusqu'à un certain point. Par exemple, dans le pigeon ordinaire, les diverses espèces de tourterelles et le pigeon colombin, les deux derniers anneaux de la trachée sont articulés ensemble antérieurement et postérieurement; mais ils laissent entre eux, de chaque côté, un espace fort large qui est rempli par une membrane tendue, à la face externe de laquelle s'attache l'extrémité inférieure du muscle propre, tandis que sa face interne est recouverte par une couche d'une substance analogue à celle qui forme le cordon vocal externe des oiseaux chanteurs : à l'intersection des bronches, on trouve un bourrelet formé de cette même substance.

» Chez les oiseaux dont le larynx est environné de cinq ou six paires de muscles propres, mais sans membrane semi-lunaire, la voix est déjà plus variée; cependant elle se réduit encore à une sorte de gazouillement assez sourd et à des espèces de cris le plus généralement aigus; c'est ce qu'on observe dans les moineaux, les gros-becs, les roitelets, etc. En effet, outre que l'absence de la membrane semi-lunaire prive l'animal d'un moyen important pour apporter de grandes modifications dans la production des sons, elle a aussi pour résultat de diminuer le nombre

des tensions possibles de la membrane tympaniforme; c'est comme si son étendue était moins considérable.

» Enfin, chez les oiseaux dont le larynx est pourvu de cinq ou six paires de muscles propres et de membrane semi-lunaire, cet organe présente une foule de moyens pour modifier et varier les sons d'une infinité de manières différentes. Les lèvres de la glotte formées par des cordons ou bourrelets d'une substance molle et en même temps très élastique ; le mouvement du troisième osselet et celui du petit cartilage aryténoïde, qui, sous l'influence des muscles qui les mettent en jeu, peuvent graduer avec une précision extrême le diamètre de la glotte; et la tension des membranes semi-lunaire et tympaniforme, l'action des muscles abaisseurs de la trachée qui peuvent raccourcir cet organe ou l'abandonner à lui-même, tandis que les muscles propres impriment au larynx diverses modifications ; enfin, la ténuité excessive de toutes les membranes qui constituent cet appareil, aussi admirable par le fini de ses détails que par les résultats qu'il produit, tels sont les principaux moyens que les oiseaux chanteurs ont à leur disposition, non seulement pour varier le degré des sons, mais encore pour leur imprimer une foule de caractères particuliers dont nos instruments de musique ne sont pas susceptibles. Ainsi, le chant de la plupart des oiseaux, d'un serin, par exemple, se compose de sons de flûte, de sons qui ont une certaine analogie avec ceux de la voix humaine, de sons d'anche très criards, et les sons de chacune de ces espèces peuvent encore différer par le timbre, l'éclat et la pureté.

» Il est extrêmement probable que la membrane semi-lunaire est le principal agent de la production des sons d'anche ; car telle est la nature des sons d'un tuyau dans lequel l'air est mis en vibration par une petite membrane placée à son orifice, et telle est aussi la nature des sons que font entendre les oiseaux chez lesquels la membrane semi-lunaire est le plus développée, comme les corneilles, les pies, les geais, les étourneaux. Il est extrêmement probable que, lors de la production des sons de cette espèce, la glotte est en général plus relâchée et plus ouverte que pour la production des sons de flûte. En effet, lorsqu'on opère la section transversale de la trachée sur des oiseaux vivants, ce qui produit sans aucun doute le relâchement de la glotte, puisque les nerfs qui se distribuent au larynx inférieur sont coupés en même temps, on remarque que ces oiseaux ne peuvent plus produire que des sons plus ou moins sourds, plus ou moins criards, et toujours analogues à ceux des anches : c'est ce que j'ai pu observer sur des linottes, des alouettes, des chardonnerets, des bouvreuils, des étourneaux, etc.

» La double embouchure de la trachée des oiseaux est encore une disposition qui doit leur permettre de varier facilement les qualités des sons, et particulièrement leur intensité ; car il ne paraît pas douteux qu'ils peuvent faire parler ces deux glottes ensemble ou séparément. Ce qui le prouve, c'est d'abord que, quoique l'organe vocal soit situé dans le plan médian du corps, il ne présente cependant aucun muscle impair; ensuite, c'est que, comme nous l'avons remarqué plus haut, les parties qui constituent chaque glotte considérée en particulier sont toujours plus développées d'un côté du corps que de l'autre ; enfin, c'est que si l'on coupe sur un oiseau vivant l'un des deux nerfs qui se distribuent au larynx inférieur, il conserve son chant avec toutes les modifications qui lui sont propres, abstraction faite de l'intensité qui est sensiblement diminuée.

» La faculté d'ouvrir et de fermer plus ou moins l'extrémité supérieure de leur trachée est encore un moyen dont les oiseaux doivent faire un fréquent usage pour

modifier le son ; toutefois, l'effet qui résulte de cette action doit être bien moins considérable qu'on ne l'a prétendu ; car, lorsqu'on ferme graduellement l'extrémité d'un tuyau très étroit dans lequel on fait résonner de l'air, le son cesse de se produire après qu'il s'est abaissé d'un ton ou au plus d'une tierce mineure ; de sorte qu'il paraît que les oiseaux ne doivent guère employer ce moyen que quand il s'agit de passer subitement d'un ton à un autre qui en est peu distant, par exemple, dans les cadences.

» Enfin, le tuyau vocal des oiseaux présente une particularité fort remarquable, qui consiste dans la terminaison de son extrémité supérieure ; car l'air contenu dans le bec fait certainement partie de la colonne d'air vibrante, et l'on ne peut pas en douter quand on fait attention à la multiplicité des mouvements de la langue des oiseaux pendant qu'ils chantent, ainsi qu'aux variations continuelles qu'ils font éprouver à l'ouverture de leur bec. En effet, si l'on tire hors de la poitrine les bronches et le larynx d'un oiseau qu'on vient de faire périr, qu'on souffle de l'air dans cet organe de façon à le faire résonner, tandis qu'on ouvre le bec plus ou moins, et qu'on fait prendre différentes positions à la langue et à la tête, on remarque que ces seules circonstances peuvent faire varier le son environ d'un demi-ton. »

Toute cette partie du mémoire de Savart est d'une rigoureuse exactitude, comme faits et comparaison, et nos réflexions ne porteront que sur l'explication qu'il a donnée des sons produits par les tiges végétales.

Savart considère l'élasticité des lèvres et du tube comme un élément essentiel, propre à déterminer les changements de densité de l'air, à l'orifice, par les variations périodiques de son ouverture. Nous ne saurions adopter cette opinion, attendu que les expériences de Masson ont mis hors de doute que les phénomènes seraient encore les mêmes, si l'embouchure était solide et munie d'une simple fente de grandeur et de forme invariables. Il a été démontré, en outre, par ce physicien, que l'état membraneux des parois de l'embouchure influaient sur le ton par les vibrations de celles-ci ; mais que ces vibrations n'étaient qu'un effet secondaire, le son résultant alors de la même cause que dans le sifflement oral. Dans ce phénomène, on sait très bien que l'orifice reste parfaitement fixe en dimension pour un son déterminé, et que les mouvements des lèvres, pendant l'écoulement de l'air, sont l'effet et non la cause du mouvement vibratoire de ce fluide.

Qu'il nous soit permis de faire observer que les mémoires de Savart, sur la voix humaine et celle des oiseaux, ont précédé de plusieurs années ses beaux travaux sur l'écoulement des fluides auxquels il devait mettre la dernière main pour compléter une théorie qu'il a considérée, jusqu'à ses derniers moments, comme un grand progrès vers la vérité.

Nous serions heureux si, ne pouvant achever, comme l'aurait fait ce physicien, des travaux si difficiles et si importants pour les sciences naturelles, nous étions parvenus à établir que la marche, adoptée par lui, est la seule qui puisse conduire à une théorie exacte de la voix.

Conclusions. Le son, chez les oiseaux, est produit originairement par l'écoulement périodiquement variable de l'air à travers les glottes inférieures ; il est renforcé par un tuyau membraneux qui est la trachée.

La hauteur du son dépend de la pression de l'air qui, pour un même son, peut rester comprise entre des limites données entre lesquelles la variation de pression détermine l'intensité.

Sans le tuyau, la glotte produirait des sons ascendants d'une manière continue avec la pression, comme dans la sirène ; mais la réaction des vibrations de la colonne d'air sur celles de l'embouchure maintient constant le son de l'orifice entre certaines limites de pression.

La grandeur de la glotte s'accommode toujours aux dimensions du tuyau pour la série des sons qu'il doit produire.

Le ton du tuyau est déterminé : 1° par sa longueur variable; 2° par la tension de ses parois plus ou moins membraneuses; 3° par l'ouverture variable du larynx supérieur; 4° enfin par la production d'harmoniques possibles à cause de la grande longueur du tuyau sonore et des modifications que la glotte peut recevoir indépendamment de celles de la trachée.

Les membranes tympaniforme de G. Cuvier, et semi-lunaire de Savart, réagissant par leurs oscillations sur l'état vibratoire de l'air, modifient le son et tendent à l'abaisser.

APPAREIL VOCAL ET VOIX DES REPTILES.

Tous les animaux appartenant à la classe des reptiles n'ont pas un appareil vocal propre à engendrer des sons, et ceux-là même qui possèdent un appareil de ce genre présentent de grandes différences dans la force et le timbre des sons qu'ils produisent. L'absence de larynx inférieur distingue nettement les organes vocaux des reptiles de ceux des oiseaux.

Chez les *reptiles propres*, le larynx se compose, en général, de trois pièces cartilagineuses : un cartilage principal formant un anneau complet, que l'on peut appeler cartilage *thyro-cricoïde;* deux cartilages petits et grêles qui forment une partie ou toute l'étendue du bord de la glotte, *cartilages aryténoïdes.* La cavité du larynx est unie, sans cordes vocales, sans ventricules; c'est seulement dans quelques uns de ces animaux qu'on rencontre exceptionnellement ces derniers organes. A cet appareil cartilagineux se trouvent annexés trois muscles, dont deux sont des dilatateurs, et l'autre un constricteur.

Dans les *chéloniens*, le larynx est petit, les rubans vocaux manquent complétement. G. Cuvier (1) a trouvé, dans une grande tortue de terre de Madagascar, une crête membraneuse, triangulaire, attachée au bas du larynx qu'elle partage en deux. Dans la *chelone midas*, le thyroïde est complétement distinct du cricoïde; la fente de la glotte est recouverte en avant par un repli membraneux qui tient lieu d'épiglotte, et qui peut-être sert à la production de quelques sons. Il serait inutile d'insister davantage sur les animaux qui appartiennent à cet ordre; on s'accorde généralement à reconnaître qu'ils sont privés de voix.

Dans le crocodile, le larynx est constitué par trois pièces; la glotte est purement membraneuse. Chez le *caïman à museau de brochet*, c'est un anneau cylindrique surmonté par les cartilages aryténoïdes; l'arc que forme chaque cartilage aryténoïde, en dedans de la glotte, est recouvert, et un peu débordé par la muqueuse; il existe un muscle constricteur et un muscle dilatateur de la glotte. Les crocodiles

(1) *Leçons d'anatomie comparée*, t. VIII, p. 808.

et les caïmans paraissent doués d'une voix qui a été comparée au miaulement du chat, dans le jeune âge ; à des sanglots entrecoupés ou à des mugissements, dans l'âge adulte.

Chez les *sauriens* propres, les cordes vocales manquent. La tension volontaire de la glotte permet néanmoins à plusieurs d'entre eux d'émettre des sons vocaux : je citerai les geckos, dont le cri ou croassement sourd ne peut être qu'un son laryngien. Dans le caméléon, les branches de chaque aryténoïde sont garnies d'une membrane tendue, dirigée en arrière, et vibratile. Il existe aussi un petit sac membraneux, qui s'ouvre entre la plaque inférieure du larynx et le premier anneau de la trachée.

Chez les *ophidiens*, les cartilages du larynx se soudent entre eux, de manière à se confondre. Le cartilage principal est un thyro-cricoïdien ; il est surmonté d'apophyses qui répondent aux cartilages aryténoïdes. La trachée-artère est deux à quatre fois aussi longue que le larynx ; elle est formée d'un nombre d'anneaux variable ; il y en a quarante dans l'orvet, cent dans la couleuvre à collier, trois cent cinquante dans le *python tigris*. Les serpents n'ont pas de véritable voix ; leurs sifflements ne méritent pas ce nom. Dans les crotales ou serpents à sonnettes, il existe, à l'extrémité de la queue, un appareil qui se compose de cornets écailleux, lâchement emboîtés les uns dans les autres, qui se meuvent, vibrent et résonnent, quand l'animal remue la queue. Le nombre de ces grelots augmente avec l'âge ; il en reste un de plus après chaque mue, et ils sont formés par l'épiderme du serpent, retourné sur lui-même comme un doigt de gant, et retenu à l'extrémité postérieure de la queue. Les vibrations que cet instrument accomplit, et qui produisent un bruit assez fort pour être entendu à une certaine distance, n'ont, comme on le voit, aucun rapport avec les bruits vocaux.

Dans les *reptiles amphibies*, la conformation de l'appareil vocal diffère suivant les familles. Dans les *cécilies*, le larynx ressemble à celui des ophidiens. Dans les batraciens anoures, le cartilage thyroïde manque ; il n'existe qu'un cartilage cricoïde et deux cartilages aryténoïdes. Chez les grenouilles et les rainettes, le larynx se compose d'un anneau mince, situé à la partie inférieure et postérieure de l'organe, avec deux apophyses de chaque côté, qui sont l'origine de chacune des bronches. Sur le devant de ce cartilage s'articulent deux pièces ovales, convexes en dehors, concaves en dedans, comparées par Cuvier (1) à des corps de timbales ; ce sont les cartilages aryténoïdes qui supportent à leur sommet de très petits cartilages cunéiformes. Sur le bord inférieur de chacun des aryténoïdes est tendue, en dedans, une membrane qui coupe à angle droit la direction de l'air ; le bord de cette membrane forme le ruban vocal. Outre ces cordes, il y en a encore d'autres placées au-dessous, et formées par un mince repli de la muqueuse. Au-dessus du ruban vocal est l'ouverture du ventricule de la glotte, qui occupe la cavité du cartilage aryténoïde. La trachée manque complétement. Trois muscles sont annexés à cet appareil : deux muscles dilatateurs, un muscle constricteur de la glotte.

Il existe encore, chez un grand nombre de batraciens, des organes vocaux accessoires : ce sont des espèces de poches membraneuses, extensibles, situées de chaque côté de la mâchoire inférieure, qui s'ouvrent dans la bouche sur les côtés de la *langue*. Ces sacs s'enflent quand les grenouilles crient ; on ne les trouve ni chez les

(1) *Loc. cit.*

grenouilles femelles, ni chez les crapauds. On se rend ainsi compte du caractère éclatant que présente la voix des mâles des batraciens. Les sacs dont il s'agit servent, en effet, au renforcement du son; ils reçoivent l'air chassé avec bruit du larynx, et l'y font rentrer aussitôt par la contraction de la couche musculaire dont ils sont revêtus. Ce mécanisme explique encore comment ces animaux, qui ont une respiration si peu active, peuvent soutenir longtemps les exercices vocaux, et peut-être même produire sous l'eau un léger grognement.

Dans le *pipa*, le larynx est une boîte cartilagineuse, oblongue, échancrée en arrière dans son bord moyen et inférieur, d'où l'on voit sortir deux petites bronches. La glotte représente une ouverture étroite entre les sommets des aryténoïdes. Deux espèces de rubans vocaux se voient de chaque côté, en avant l'un de l'autre, dans la profondeur de la glotte. A l'intérieur de l'organe se trouvent deux tiges cartilagineuses, qui agissent à la manière de languettes en forme de verges; en sorte que, par une exception singulière, dans l'organe vocal du pipa mâle, les sons seraient produits, suivant certains auteurs, par des corps solides qui vibrent.

APPAREILS PRODUCTEURS DU SON DANS LES INSECTES.

Les sons que font entendre les insectes ne sont pas formés, comme chez les animaux supérieurs, par un organe vocal à conformation variable; ils sont dus, le plus souvent, à des ébranlements imprimés aux enveloppes de ces animaux par des appareils musculaires spéciaux, ou bien encore au frottement de certaines parties de leur corps contre d'autres. Aussi est-il rationnel de désigner, avec Dugès (1), ces divers bruits sous le nom de *stridulation* plutôt que sous le nom de *voix*. En effet, la voix a, comme nous l'avons vu, pour organe un instrument à vent; la stridulation se produit par un mécanisme tout différent.

Quelques insectes engendrent des sons en frappant ou en frottant contre des corps durs certaines parties de leur squelette cutané. C'est ainsi que les mâles du *mycterus curculioides* cognent avec une telle violence l'extrémité de leur corps contre le bois sur lequel ils se sont posés, qu'il en résulte un son assez fort. Les *vrillettes*, en oscillant vivement sur leurs six pattes, frappent de leurs mandibules fermées le bois des vieux meubles; et c'est de cette manière que se produisent les pulsations que l'on entend surtout dans la nuit et qu'on a parfois attribuées mal à propos aux psoques ou poux de bois.

Les sons aigus que font entendre beaucoup de *coléoptères* résultent du frottement de leur prothorax contre le pédoncule du mésothorax, ou du frottement de l'abdomen contre la face interne des élytres.

Chez les mâles de plusieurs *acridides*, les cuisses, qui sont munies, sur leur face interne, d'une saillie âpre longitudinale, jouent comme un archet de violon sur les bords latéraux de leurs élytres. Chez les *locustides* et les *achétides* mâles, le cri particulier à ces animaux est produit par le frottement de l'une des élytres contre une côte cornée qui existe à la face inférieure de l'autre élytre.

Le *bourdonnement* que beaucoup de diptères et d'hyménoptères font entendre en volant est dû aux vibrations imprimées au thorax par les contractions rapides des muscles des ailes pendant le vol. Ce qui prouve qu'il n'est pas le résultat du seul mouvement des ailes, c'est qu'il persiste après l'ablation de ces organes.

(1) DUGÈS, *loc. cit.*

On paraît s'être complétement trompé en l'attribuant à l'air qui traverserait rapidement les stigmates du thorax et provoquerait ainsi des vibrations dans cette partie du corps.

Les *cigales chanteuses mâles* présentent un appareil producteur du son qui mérite d'être signalé. Cet appareil occupe la face inférieure du premier segment abdominal. L'instrument sonore ou *timbale* est une membrane sèche, grisâtre, élastique, soutenue par des arcs cornés, et encadrée par une pièce cornée immobile. Deux muscles s'attachent à cette membrane : l'un, très petit, a pour usage d'augmenter la tension de la timbale ; l'autre, beaucoup plus fort, la déprime. C'est par les alternatives de tension et de relâchement de la timbale qu'on peut expliquer la production des vibrations sonores. Celles-ci sont encore rendues plus fortes par un appareil de renforcement énergique, auquel sert tout le corps de la cigale. Les parois écailleuses, dures et sèches du corps de l'animal représentent assez bien la caisse d'un instrument de musique. Une grande cavité aérienne occupe le thorax, une autre l'abdomen, et toutes deux communiquent, par un espace triangulaire, entre les deux muscles de la timbale.

DE LA PAROLE.

Avec la raison, l'homme a reçu, de plus que les animaux, la faculté d'exprimer et de reproduire ses pensées par la *parole*. Constamment on a vu le perfectionnement de la langue d'un peuple devenir le mobile fécond de son avancement et de sa supériorité : puissant ressort de nos progrès et de notre civilisation, la parole nous fait sortir du cercle de nos besoins physiques, pour élever l'édifice de nos relations morales, en nous permettant de manifester nos vœux, d'enrichir nos semblables des fruits de notre expérience, de recueillir leurs idées et de leur communiquer les nôtres.

La *parole* est la voix articulée, c'est-à-dire modifiée par le jeu de divers organes qui se rencontrent depuis le larynx jusqu'aux orifices antérieurs de la bouche et des fosses nasales. Chacun des organes servant à la parole remplit un rôle qui lui est propre, et toutes les fois qu'un d'eux est altéré dans ses fonctions, la parole elle-même subit une atteinte plus ou moins profonde dans son émission et dans sa pureté. Le pharynx, les fosses nasales, les diverses parties constituantes de la bouche, le voile du palais et la luette, la langue, les joues, les lèvres et les dents concourent à accomplir cet acte important

Dans l'étude de la parole, il y a à considérer la *production* des divers sons que l'homme peut engendrer (1), leur *articulation* et leur *conjugaison*.

Parmi les sons, les uns se rapportent aux *voyelles* et les autres aux *consonnes*.

Avec Haller (2), on ne saurait admettre que les *voyelles* exigent seulement une ouverture plus ou moins grande de la bouche pendant l'émission de la voix, et que ni la langue ni les lèvres ne concourent à leur formation : « *Vocales unice apertura oris majori et minori formantur, dum vox efflatur, neque hic lingua ad labia aut ad aliam partem adliditur.* » Nous verrons bientôt que le mécanisme même de la formation des voyelles est contraire à cette opinion. Ce qu'on peut dire, c'est que les voyelles paraissent résulter de sons vocaux ou laryngiens presque

(1) Voyez plus haut le chapitre sur la Voix.
(2) *Elementa physiologiæ corporis humani*, t. III, p. 162, in-4. Lausanne, 1760.

purs, à peine articulés. Les voyelles ont encore une autre propriété : leur son peut être soutenu pendant quelque temps sans rien perdre du caractère primitif. Jamais deux voyelles ne peuvent être prononcées à la fois.

Il semble, de prime abord, que rien ne soit plus facile que de préciser le mécanisme à l'aide duquel chaque voyelle est produite ; il existe pourtant, à cet égard, des dissidences entre les divers physiologistes qui se sont occupés de cette question.

Dans le but d'apprécier exactement ce mécanisme, Gerdy (1) s'est attaché à étudier par la vue, au miroir, les mouvements qui se passent dans les divers organes qui servent à la prononciation. Comme, parmi ces organes, il en est dont la situation est profonde, et que leurs mouvements pourraient être cachés par ceux des lèvres, il devient nécessaire, pour bien apprécier ces mouvements, d'ouvrir, et de maintenir ouvertes avec les doigts, les lèvres et la cavité buccale. Cette méthode d'expérimentation est utile : mais il ne faut pas se dissimuler que, pour l'articulation de certains sons, elle peut donner des résultats erronés en mettant précisément obstacle au jeu régulier de plusieurs parties qui y coopèrent. Toutefois, en l'expérimentant sur soi-même, on lui reconnaît des avantages réels.

Gerdy (2) divise les voyelles en deux groupes : les voyelles *distinctes* et les voyelles *confuses*. Les premières frappent clairement l'oreille, et on les discerne nettement les unes des autres ; ce sont : *a*, *è*, *é*, *i*, *o*, *u*. Les secondes sont formées de sons que l'oreille distingue difficilement de certaines voyelles du premier groupe ; tel l'*e* muet, qui se rapproche beaucoup du son *eu*, mais qui diffère de ce dernier en ce qu'il n'a pas la même clarté et se fait à peine entendre.

Les voyelles distinctes constituent deux classes : les voyelles *simples* et les voyelles *composées*. Les premières résultent de la forme particulière du tuyau vocal pendant qu'il est traversé par le son ; les secondes, appelées *voyelles nasales*, *in*, *an*, *un*, *on*, sont produites par le retentissement des sons vocaux dans les fosses nasales.

Les voyelles simples sont réparties en trois groupes, et chacun de ces groupes se rattache à une différence dans le mécanisme même de la production. J'examinerai ici ce mécanisme dans le même ordre que Gerdy, et, chemin faisant, je signalerai quelques observations qui me sont particulières.

a. — Le premier groupe de voyelles simples se compose de *a*, *è*.

Pour prononcer ces deux lettres, l'isthme du gosier représente une fente verticale un peu plus large en bas qu'en haut ; le voile du palais s'étend en voûte, et la luette se raccourcit. Dans la prononciation de l'*a*, la bouche est librement ouverte, la langue est abaissée, surtout vers la pointe. Dans la prononciation de l'*è*, comme dans *fête*, la langue est plus élevée, mais je me suis assuré sur moi-même que l'isthme du gosier figure une fente plus large que pour *a*.

b. — Le deuxième groupe de voyelles simples comprend *é*, *i*. L'isthme du gosier formerait, d'après Gerdy, une ouverture plus large, bornée en bas par la surface soulevée de la base de la langue, en haut par le voile du palais, en dehors par les piliers écartés. Je ferai remarquer qu'il est à peu près impossible de prononcer ces deux lettres en tenant la bouche ouverte ; il est donc bien difficile d'apprécier les changements qui se passent au niveau de l'isthme du gosier.

Pour *é*, la bouche est ouverte en fente transversale, le corps de la langue est

(1) GERDY, *Physiologie*, t. I, p. 777.
(2) *Ouv. cit.*, p. 779.

appliqué au palais. Pour *i*, la langue s'approche davantage du palais, ainsi que de la luette.

c. — Le troisième groupe de voyelles simples se compose de *o*, *ou*, *eu*, *u*. On peut le subdiviser en deux ordres : dans le premier comprenant *o*, *ou*, l'isthme du gosier est conformé comme pour la prononciation de l'*a;* dans le second comprenant *eu*, *u*, l'isthme du gosier est, suivant Gerdy, configuré comme dans *é*.

Pour la lettre *o*, les lèvres sont froncées en rond et allongées en canal, la pointe de la langue est abaissée et retirée en arrière des incisives inférieures.

Pour le son *ou*, les lèvres sont froncées ou plus allongées que dans *o*.

Pour le son *u*, l'ouverture de la bouche est plus étroite.

La classe des voyelles nasales se compose de *in*, *an*, *un*, *on;* ces voyelles sont constituées par la succession d'un retentissement buccal et d'un retentissement nasal. Le mécanisme de la prononciation de ces voyelles est très facile à saisir : *in*, *an*, *un*, *on*, se prononcent de la même manière que *i*, *a*, *u*, *o*, en y ajoutant un retentissement de la colonne d'air dans les fosses nasales.

Segond (1) a exposé, sur la formation des voyelles simples, un mécanisme moins complexe que celui qui vient d'être mentionné. Il fait d'abord observer que l'on a trop cherché à spécialiser la forme du tuyau vocal, pour chaque voyelle en particulier, et que, dans ce tuyau, il existe des parties qui peuvent se suppléer pour l'émission d'une voyelle : c'est ainsi que l'*o*, qui demande une configuration particulière de l'ouverture antérieure de la bouche, peut aussi être produit par l'isthme du gosier, quoique les lèvres soient maintenues écartées.

Si l'on fait passer la voix à travers la bouche, en donnant aux lèvres et aux mâchoires un degré d'écartement moyen, on produit le son *a*. Laissez les mâchoires dans la même position, et ramenez progressivement les lèvres en avant, de manière à allonger la cavité buccale, vous donnerez lieu successivement à la formation des sons *ò*, *ô*, *o*, *ô*. Joignez au mouvement des lèvres le rapprochement gradué des mâchoires, vous aurez les sons *eu*, *ou* et *u*.

Disposez le tuyau vocal comme pour la formation de l'*a*, puis portez le dos de la langue vers le palais, de manière à rétrécir graduellement l'espace qui se trouve entre ces deux organes, vous produirez ainsi les sons *ê*, *è*, *é*, *i*.

Quant à la prononciation des *consonnes*, elle exige, selon Gerdy, deux mouvements : un préliminaire, qui consiste tantôt dans des mouvements des lèvres, tantôt dans l'occlusion momentanée du canal oral; puis un mouvement d'articulation qui consiste surtout dans l'ouverture subite du canal oral, et dans l'émission brusque de l'air préalablement retenu, et enfin dans l'explosion simultanée de la consonne. Un caractère commun à toutes les consonnes, c'est qu'aussitôt après l'articulation de la lettre, le canal de la prononciation prend une disposition analogue à celle qu'il affecte dans les voyelles; aussi le son propre à la consonne disparaît-il rapidement pour faire place au son de la voyelle. La prononciation des consonnes est donc en quelque sorte instantanée ; il est impossible de la prolonger comme celle des voyelles.

Il y a peut-être un peu d'exagération dans ces idées, et il n'existe pas entre les voyelles et les consonnes une différence aussi tranchée.

(1) *Mémoire sur la parole*. Dans les *Archives de médecine*, 1847, 4e série, t. XIV, p. 341.

Dans un travail déjà cité, Segond (1) établit une classe spéciale de consonnes, qu'il appelle *consonnes soutenues*, et qui peuvent être prolongées comme les voyelles. Les mouvements du tuyau vocal qui servent à les former n'agissent pas comme pour une véritable articulation : nous citerons pour exemples *s*, *ch*, χ des Grecs, etc. Aussi Segond a-t-il proposé une classification des consonnes qui s'éloigne de la classification précédente. Nous reviendrons sur son travail.

Les consonnes peuvent être divisées en *consonnes simples* et en *consonnes composées*. Les premières font entendre un son consonne, uni à un son voyelle ; les secondes font entendre deux sons consonnes simultanément. C'est ainsi que dans le mot *blâmer*, les consonnes *b* et *l* se prononcent en même temps, et donnent deux sons qui se suivent si rapidement qu'ils semblent confondus ; ces consonnes forment donc par leur réunion une consonne composée.

Gerdy (2) a divisé les consonnes simples en neuf genres, et il a étudié avec un grand soin le mécanisme de la prononciation de chacune d'elles.

Le premier genre renferme le *b* et le *p*, que cet auteur appelle consonnes *labiales ;* elles résultent de l'occlusion des lèvres et de leur écartement subit.

Le deuxième genre comprend le *v* et le *f ;* ce sont les consonnes *dento-labiales ;* elles résultent de l'application des dents supérieures à la lèvre inférieure, suivie de l'écartement brusque de ces organes.

Le troisième genre de consonnes renferme le *z*, le *c* des Espagnols et le θ des Grecs. Le mécanisme de la prononciation de ces consonnes est simple ; la pointe de la langue est portée entre les incisives et ensuite retirée.

Le quatrième genre comprend le *z* français, le *j*, le *ch* (dans *char*) ; ce sont les *linguales antérieures sifflantes*. Pour *z* et *s*, la pointe de la langue dirige l'air contre les dents supérieures, et s'applique à la partie antérieure de la voûte palatine. Pour *j* et *ch*, la pointe de la langue est élargie, s'approche du palais en se recourbant en haut, et se recule un peu plus que dans les consonnes précédentes.

Le cinquième genre est formé par les consonnes *linguales antérieures muettes ;* ce sont : *l*, *r*, *d*, *t*.

Pour la prononciation de l'*r*, la pointe de la langue est portée vers le palais, des mouvements vibratoires sont imprimés à la langue ; puis la pointe de cet organe est détachée du palais pour articuler la consonne.

Pour *l*, le canal de la prononciation est incomplétement fermé ; l'air s'échappe sur les côtés.

Pour *d* et *t*, le canal de la prononciation est entièrement fermé ; la langue est appliquée au palais et touche les dents.

Le sixième genre forme le genre des consonnes *linguales ;* ces consonnes ont pour caractère d'être articulées par le corps de la langue. Ce sont : *y*, dans *moyen ; dieu*, *thieu*, dans *Dieu* et *Matthieu ; ch*, dans *licht* (mot allemand qui signifie lumière) ; *g*, dans *gand ; q*, dans *quai*. Suivant Gerdy, ces consonnes sont articulées par le corps même de la langue ; dans toutes, excepté dans *ch* de *licht*, la langue s'applique au palais par un premier mouvement, et s'en écarte ensuite pour articuler la consonne.

Le septième genre ne renferme qu'une consonne gutturale qui manque à la langue française ; c'est le *j* des Espagnols, dans *juez ;* le *ch* des Allemands, dans *machen*.

(1) *Rec. et mém. cit.*
(2) *Loc. cit.*

Le huitième genre comprend les consonnes *nasales* *m*, *n*, qui exigent un abaissement du voile du palais et le retentissement du son dans les fosses nasales. En même temps, pour la prononciation de l'*m*, les lèvres agissent comme dans *b*; pour la prononciation de l'*n*, elles agissent comme dans *d*. Gerdy fait observer, à ce sujet, que l'on peut considérer les lettres *m* et *n* comme un *b* et un *d* passés par le nez.

Enfin, le neuvième genre ne renferme qu'une seule lettre, c'est l'*h* aspiré, comme dans *hallebarde*, *humer*, etc. Pour prononcer cette lettre, le pharynx et l'isthme du gosier sont d'abord resserrés, puis a lieu dans ces organes un relâchement qui coïncide avec l'expiration et fait résonner la consonne.

Le lecteur trouvera dans le tableau suivant un abrégé de la classification des voyelles et des consonnes proposée par Gerdy :

Voyelles. .	1er groupe.	*a*, *é*.
	2e groupe.	*é*, *i*.
	3e groupe.	*o*, *ou*, *eu*, *u*.
	4e groupe.	*in*, *an*, *un*, *on*.
Consonnes.	1er genre. .	Consonnes labiales, *b*, *p*.
	2e genre. .	Consonnes dento-labiales, *v*, *f*.
	3e genre. .	— — — *z*, *c* (espagnols).
	4e genre. .	Consonnes linguales antérieures sifflantes, *z*, *s*, *j*, *ch*.
	5e genre. .	— — — muettes, *l*, *r*, *d*. *t*.
	6e genre. .	Consonnes linguales, *y*, *ch*, *ll*, *g*, *q*, *dieu*, *thieu*.
	7e genre. .	Consonnes gutturales, *j* (espagnol), *ch* (allemand).
	8e genre. .	Consonnes nasales, *m*, *n*.
	9e genre. .	— — *h* aspiré.

Tel est, d'après Gerdy, le mécanisme de la prononciation des voyelles et des consonnes; occupons-nous à présent de *la conjugaison* des sons.

On désigne sous ce nom la prononciation successive des voyelles et des consonnes : c'est ainsi que se constituent les syllabes. On conçoit que les voyelles et les consonnes puissent se combiner ensemble d'une foule de manières, et donner lieu à un nombre considérable de syllabes. Gerdy a fait un curieux calcul sur le nombre de syllabes que l'on peut former à l'aide des *douze* voyelles et des *vingt-sept* consonnes précédemment énumérées : ce calcul l'a conduit au chiffre énorme de huit mille sept cent douze syllabes, comprenant à la fois les syllabes voyelles, les syllabes à consonnes simples et les syllabes à consonnes composées.

La classification de cet auteur s'éloigne beaucoup de celle de Haller (1) qui divise les consonnes en muettes, explosives, nasales et liquides. Parmi les consonnes muettes, il range les lettres *s*, *z*, *f*, *v*, *w*, *ch* des Grecs, *j* des Espagnols, *th* des Anglais; parmi les explosives, les lettres *b*, *p*, *d*, *t*, *d*, *k*, *g* ; parmi les nasales, *m*, *n* ; parmi les liquides *l*, *r*, etc.

Bordenave (2) divise les consonnes en deux classes : celles qu'il nomme semi-voyelles et celles qu'il appelle consonnes propres. Les semi-voyelles sont *n*, *m*, *l*, *r*:

(1) *Elementa physiologiæ*, t. III, p. 466. Lausannæ, 1766.
(2) *Essai sur la physiologie ou la physique du corps humain*, 4e édition, t. I, p. 226.

les deux premières sont des consonnes nasales, les deux dernières des consonnes orales. Les consonnes propres sont *k*, *t*, *q*, *f*, *ch*, *s* ou *muettes*, et *g*, *d*, *b*, *v*, *j*, *z*, *x*, ou *murmurantes*. Bordenave a du reste bien saisi le mécanisme de la formation de ces lettres, et leur a assigné les noms de linguales-palatines, linguales-dentales, labio-labiales, labio-dentales, etc., etc., suivant les organes qui concourent à leur prononciation.

Magendie (1) s'est éloigné des idées de ses prédécesseurs relativement à la division des lettres en voyelles et consonnes. Ce physiologiste ne reconnaît que des *lettres vocales* et des *lettres non vocales*. Pour lui les lettres *vocales* consistent en des modifications de la voix, les lettres *non vocales* sont complétement indépendantes de la voix. Les lettres vocales sont *a*, *è*, *é*, *e*, *i*, *o*, *ô*, *u*, *eu*, *ou*, *u*, *b*, *p*, *d*, *t*, *l*, *g*, *k*, *m* et *n*. Les lettres non vocales sont *f*, *v*, *s*, *x*, *z*, *j*, *r*, *h*. Cette division paraît fort simple, et à ce titre, elle mériterait d'être mentionnée ; mais il est impossible de la laisser passer sans lui faire une objection : la première classe, c'est-à-dire la classe des lettres vocales en renferme plusieurs qui ne résultent pas de simples modifications de la voix, et qui exigent une véritable articulation : tels sont le *p*, le *t*. D'un autre côté, parmi les lettres désignées plus haut sous le nom de *lettres non vocales*, il en est qui exigent l'intervention de la voix, comme *v*, *z*, *j*.

J. Müller (2) blâme la distinction qu'on a établie pour les sons de la langue parlée, d'après les organes qui sont réputés les produire. Cette distinction lui paraît vicieuse, car elle réunit des sons qui diffèrent les uns des autres au point de vue physiologique, et d'ailleurs plusieurs des mêmes parties de la bouche servent à l'articulation de la plupart des sons. Pour le même auteur, la différence entre les consonnes et les voyelles est moins grande qu'on ne l'a prétendu ; on peut réduire les voyelles comme les consonnes à de simples bruits lorsqu'on parle à voix basse. Aussi pense-t-il que, pour bien apprécier les propriétés des divers sons de la parole, il faut prendre *le parler* à voix basse ou le chuchotement pour point de départ, puis rechercher les modifications qui surviennent par l'addition du son proprement dit, ou de l'intonation.

Le système des sons muets, de la parole à voix basse, se compose de voyelles muettes, de consonnes muettes et soutenues, et de consonnes muettes explosives. Les voyelles muettes sont *a*, *e*, *i*, *o*, *ou*, *œ*, *œ*, *u*, et les voyelles nasales *a*, *œ*, *œ*, *o*. Ces voyelles diffèrent des consonnes muettes en ce que ces dernières ne naissent que dans le tuyau placé au-devant de l'organe vocal, c'est-à-dire dans la cavité orale et nasale, tandis que les voyelles se forment dans la glotte. Les voyelles muettes diffèrent des voyelles prononcées à haute voix, en ce que dans ce dernier cas la glotte, au lieu d'un simple bruit, produit un véritable son. La formation des voyelles s'explique par le degré de largeur de l'orifice buccal, et par le degré de largeur de ce que Kempelen a désigné sous le nom de canal oral, c'est-à-dire de l'espace qui s'étend entre le larynx et le palais.

Les consonnes muettes et soutenues ont pour caractère de pouvoir être prononcées pendant un temps aussi long que l'haleine le permet, sans qu'il survienne une modification dans les parties de la bouche qui concourent à les former. On peut soutenir la prononciation des lettres *f*, *s*, *r*, etc., tandis que les consonnes muettes explosives ont un caractère tout à fait opposé : celles-ci ne peuvent être prononcées que pendant un temps très court : exemple : *b*, *d*, *p*, etc.

(1) *Physiologie*, t. I.
(2) *Manuel de physiologie*, t. II, p. 250. Traduction de Jourdan.

Les consonnes soutenues, admises par J. Müller, sont : *h*, *m*, *ng*, *f*, *ch*, *sch*, *s*, *r*, *l*. Elles sont divisées en trois classes.

La première classe renferme les consonnes soutenues orales, dont l'émission exige que le *canal oral* soit entièrement ouvert. Il n'y a ici qu'une seule lettre, c'est la lettre *h* aspiré.

La seconde classe comprend les consonnes soutenues nasales, dont l'émission exige que le *canal nasal* soit entièrement ouvert. Nous trouvons ici *m*, *n*, *ng*. L'air traverse le canal nasal, et la cavité orale est close, soit par les lèvres, soit par la langue appliquée au palais. La bouche se ferme, à l'aide des lèvres, pour la prononciation de l'*m*; elle est fermée par la pointe de la langue pour la prononciation de l'*n*: par l'application du dos de la langue, pour la prononciation de *ng*.

La troisième classe se compose des consonnes soutenues orales, dont l'émission exige que certaines parties de la bouche se mettent en opposition les unes avec les autres, comme des espèces de valvules. Ces parties qui se mettent en opposition sont les lèvres, les dents, la langue et le palais, pour prononcer les lettres *f*, *ch*, *sch*, *s*, *r*, *l*.

Pour *f*, les lèvres se placent comme pour souffler, et le *v* n'en est qu'une modification ; l'ouverture des lèvres est seulement plus arrondie pour *f* que pour *v*.

Pour le *ch* qui correspond au χ des Grecs, la langue se rapproche du palais, et l'air passe à travers un intervalle étroit ménagé entre les deux organes.

Pour *s*, les dents sont rapprochées ou même en contact, et la pointe de la langue touche celles de la rangée inférieure.

Pour *r*, la langue vibre contre le palais; mais il y a deux sortes d'*r*: l'*r* pur ou lingual, dans la production duquel la langue est la partie vibrante, et le voile du palais reste en repos; l'*r* guttural, pour lequel la langue demeure tranquille et le voile du palais vibre.

Pour l'*l*, la pointe de la langue s'applique immédiatement au palais, et l'air ne passe que des deux côtés, entre elle et les joues.

Les consonnes muettes explosives sont β, γ, δ et leurs modifications π, κ, τ. Elles présentent toutes ce caractère que la situation des parties de la bouche qui sert à les former change d'une manière brusque; la formation de ces consonnes commence par la fermeture de la bouche et se termine par son ouverture; le caractère fondamental de ces consonnes est leur durée instantanée.

Elles sont subdivisées par J. Müller en consonnes explosives simples β, γ, δ, *b*, *d*, *g*, et en consonnes explosives aspirées, *p*, *t*, *k*. Ces dernières diffèrent des autres en ce qu'une aspiration se joint à l'ouverture de la bouche.

On voit que d'après cette étude, tous les sons principaux de la parole articulée appartiennent au système de la parole à voix basse. Il n'y aurait qu'un petit nombre de modifications des consonnes dont la formation exige la consonnance de la voix, et qu'on ne puisse faire sortir à voix basse, le *j* allemand, le *j* français, le *ge*, le *j* français, l'*l* avec intonation, l'*l* muet, l'*r* avec intonation.

Le système des sons de la parole à haute voix se compose de voyelles et de consonnes.

Pour les voyelles, la situation de la bouche est la même que dans la prononciation à voix basse; le son se produit dans le larynx, et il est modifié par le canal pharyngien, par le canal oral et par l'ouverture buccale.

Les consonnes sont divisées par Müller en deux classes :

La première classe renferme toutes les consonnes qui restent muettes dans la parole à haute voix. Il les divise : 1° en *explosives*, *b*, *d*, *g*, *p*, *t*, *k* ; pour toutes ces consonnes, l'intonation de la voix vient après qu'elles ont été prononcées ; 2° en *continues*, c'est l'*h* ; lorsqu'on prononce cette lettre, on reconnaît que l'éclat de la voix ne sort pas en même temps qu'elle, et que l'aspiration s'éteint aussitôt que l'air produit un son en traversant les cordes vocales.

La seconde classe de consonnes renferment celles qui, dans la parole à haute voix, peuvent être aussi bien prononcées muettes, c'est-à-dire comme simple bruit, qu'avec intonation de la voix. Ces consonnes sont tantôt exprimées par des lettres particulières, comme le *z* et le *j*, pour l'*s*, le *sch* avec intonation, tantôt par un *e* muet placé après *l*, *m*, *n*, *r*.

Dans un mémoire, que j'ai déjà cité en parlant du mécanisme de la formation des voyelles, Segond (1) a émis des idées qui diffèrent de celles qui ont été mentionnées jusqu'ici. Je ne reviendrai pas sur ce mécanisme à propos des voyelles, mais j'insisterai plus spécialement sur celui de la formation des consonnes.

Segond distingue deux ordres de consonnes : les consonnes *soutenues* et les consonnes *non soutenues*.

Les premières peuvent être *soutenues* comme les voyelles. Les mouvements du tuyau vocal qui servent à les former n'agissent pas en produisant une véritable articulation ; l'air ou le son arrive plus ou moins librement à l'extérieur sans être brisé ou arrêté. Parmi ces consonnes, il faut d'abord citer l'*h*, dont la formation dépend d'un état particulier des lèvres de la glotte ; celles-ci, au lieu de s'écarter comme pour l'expiration ordinaire, se rapprochent de manière que l'air puisse les traverser sans les mettre en vibration, en produisant une sorte de sifflement. Viennent ensuite les lettres *s*, *ch*, *χ* des Grecs et *ch* des Allemands. Ces consonnes sont produites par l'air qui s'échappe entre le palais et la langue préalablement rapprochés ; la situation de la langue par rapport au palais varie d'ailleurs pour chacune de ces lettres. Lorsque la pointe de la langue s'applique à la partie antérieure de la voûte palatine, de manière à livrer passage à l'air par une très petite ouverture, il y a formation de l'*s* ; si l'étranglement est constitué par le milieu du dos de la langue et le palais, on obtient le *ch* ; si c'est la base même de la langue qui se porte vers le palais, on a le *χ* des Grecs ou le *ch* des Allemands.

Le *f* se prononce en forçant l'air à passer entre le milieu de la lèvre inférieure et les dents incisives supérieures. Le *th* dur des Anglais est produit lorsque le courant d'air passe entre les incisives supérieures et le bout de la langue.

Pour transformer les trois lettres *s*, *ch*, *f* en *z*, *j*, *v*, il suffit d'ajouter aux premières l'intonation de la voix ; aussi est-il impossible de prononcer *z*, *j*, *v*, sans le secours de la voix.

La lettre *r* est aussi une consonne soutenue ; pour la former, la langue est fixée par ses bords à la voûte palatine, et il y a un roulement de la pointe.

La lettre *j* des Espagnols résulte d'un roulement de la luette sur le milieu de la partie postérieure de la langue.

Les consonnes *non soutenues* sont plus nombreuses que les précédentes, et le mécanisme de leur formation demande à être examiné avec quelques détails.

Pour les trois consonnes *p*, *b*, *m*, on trouve l'explication de leur mode de pro-

(1) *Loc. cit.*

nonciation dans l'occlusion des lèvres et leur écartement subit combiné de diverses manières avec la voix. Ainsi on prononce le *p* toutes les fois qu'il y a simultanéité entre le détachement des lèvres et l'émission de la voix ; le *b*, lorsque le détachement des lèvres est précédé par un retentissement de la voix ; le *m*, quand la séparation des lèvres est précédée d'un retentissement de la voix dans les fosses nasales.

Pour les consonnes *t*, *d*, *n*, *l*, l'extrémité de la langue se porte vers la partie antérieure de la voûte palatine ; mais cette action est combinée de différentes manières avec la voix.

Pour le *t*, il y a simultanéité entre le détachement de la langue et l'émission de la voix.

Pour le *d*, le murmure de la voix précède le détachement de la langue.

Pour *n*, la voix devance l'articulation et va retentir dans les fosses nasales.

La lettre *l* diffère de la lettre *d* en ce que, pour le *d*, l'occlusion de la bouche est complète, tandis que pour *l* l'extrémité seule de la langue s'applique exactement au palais, le son passe entre les bords de la langue et les dents molaires.

Pour les consonnes *q*, *g*, *gn*, *ll*, le milieu de la langue s'applique au palais, et le mécanisme de leur formation réside dans le mode de combinaison du jeu de la langue et du palais avec l'émission de la voix.

Pour la lettre *q*, le détachement de la langue coïncide avec l'émission de la voix ; pour la lettre *g*, la voix retentit dans le pharynx et la bouche avant le détachement de la langue ; pour *gn*, la voix retentit dans les fosses nasales avant le détachement de la langue ; pour *ll*, le dos de la langue s'applique au palais, et le son retentit dans la bouche en passant entre les bords de la langue et les molaires.

Segond considère la lettre *x* comme une consonne composée, formée soit par la réunion de *gs*, comme dans *exalté*, qui se prononce comme s'il y avait *egzalté* ; soit par la réunion de *qs*, comme dans *expérience*, qui se prononce comme *eqspérience*.

Le tableau suivant résume le travail de Segond :

Voyelles simples.	*a*, *à*, *â*, *o*, *ô*, *eu*, ou *u*.	
	ê, *è*, *é*, *i*.	
Voyelles composées ou nasales.	*an*, *in*, *on*, *un*.	
Consonnes soutenues. . .	*h*, *s*, *ch*, *χ*, *ch* (des Allemands).	
	f, *th* (anglais), *c* (espagnol).	
	z, *j*, *v*, *r*, *j* (espagnol).	
Consonnes non soutenues.	*p*, *b*, *m*. . .	Jeu des lèvres combiné avec la voix.
	t, *d*, *n*, *l*. .	Jeu de la langue combiné avec la voix.
	q, *g*, *gn*, *ll*.	Jeu du milieu de la langue combiné avec la voix.
Consonne composée . . .	*x*.	Formé de *gz* ou de *qs*.

Quel que soit le mécanisme de l'articulation des diverses lettres, on comprend qu'il est nécessaire que les organes qui forment le tuyau vocal soient dans une intégrité complète pour que la voix puisse en recevoir les modifications indiquées précédemment. Toute maladie, tout vice de conformation de ces organes apportent des entraves à l'exercice régulier de la parole : une division congéniale ou accidentelle du voile du palais, une tuméfaction de la langue ou de la mu-

queuse des fosses nasales, un bec-de-lièvre, etc., altèrent inévitablement la prononciation. Il faut pourtant noter ici que l'on a peut-être un peu exagéré l'importance de l'intégrité de ces diverses parties pour l'accomplissement régulier de l'exercice de la parole. Sous ce rapport, on a fait jouer à la langue un rôle que des observations nombreuses ont beaucoup amoindri. On a généralement admis que la présence de la langue tout entière était nécessaire pour articuler les sons; mais il a été reconnu que des personnes auxquelles une portion plus ou moins considérable de cet organe avait été enlevée, soit par une gangrène partielle, soit par une opération, avaient conservé la faculté de parler, et de parler assez distinctement.

Plusieurs faits de ce genre ont été insérés par Louis (1) dans un travail présenté à l'Académie de chirurgie; je me bornerai à en citer quelques uns.

A. Paré rapporte qu'un individu qui avait une portion de la langue coupée resta pendant trois ans sans pouvoir parler; que le hasard l'ayant un jour conduit à pouvoir articuler quelques sons au moyen d'une écuelle qu'il s'était placée entre les dents, il eut l'idée de se faire construire un instrument spécial dont il se servit ensuite avec le plus grand succès pour parler.

De Jussieu a vu, à Lisbonne, une fille âgée de quinze ans et née sans langue, qui s'acquittait de toutes les fonctions que cet organe accomplit dans l'état normal. On ne voyait dans la bouche et dans toute la place que la langue y occupe ordinairement qu'une petite éminence en forme de mamelon, élevée d'environ 3 ou 4 lignes. Cette jeune fille portugaise parlait si distinctement et avec tant de facilité, qu'à moins d'en être prévenu, on n'aurait jamais pu croire qu'elle fût privée de l'organe réputé l'instrument essentiel de la parole.

On trouve, dans les *Transactions de la Société royale de Londres* (2), un exemple analogue au précédent:

Une jeune femme de vingt ans prétendait avoir perdu la langue, à l'âge de quatre ans, par le fait d'une affection cancéreuse de l'organe. Les commissaires de la Société royale, chargés de faire un rapport sur ce cas, s'étant livrés à un examen scrupuleux, ne trouvèrent aucun vestige de la langue; et malgré l'entière privation d'un organe aussi nécessaire pour la parole et pour aider à la déglutition, le sujet s'acquittait de cette dernière fonction, et avalait des aliments solides et liquides aussi bien qu'une personne dont la langue n'aurait subi aucune déperdition de substance. *A l'égard de la voix, cette femme parlait aussi coulamment et aussi distinctement qu'une autre personne;* elle articulait bien les lettres et les autres syllabes, prononçait les voyelles aussi bien que les consonnes et les mots qui paraissent exiger le plus de secours de la langue. Elle articulait les mots en chantant comme tout le monde.

Une fille âgée de vingt ans, observée par Bonami (3), médecin de Nantes, avait eu une gangrène partielle de la langue à l'âge de huit à neuf ans pendant le cours d'une petite vérole maligne. Elle perdit la faculté de parler, et pendant les deux ou trois premières années qui suivirent, elle ne fit entendre que des sons confus et mal articulés. Au bout de quelque temps, elle commença à bégayer, puis elle articula quelques mots avec effort; enfin elle finit par parler distinctement.

(1) *Mémoire physiologique et pathologique sur la langue.* Dans *Mém. de l'Acad. de chir.*, édit. in-4°, t. V, p. 486.

(2) Année 1742, n° 464.

(3) Louis, *Mém. de l'Acad. de chirurgie*, loc. cit.

Il n'entre pas dans le plan de cet ouvrage d'étudier avec détail tous les vices de la parole; je me contenterai de les signaler.

La perte complète de la parole, ou le *mutisme*, ne s'observe guère que dans certains cas d'idiotisme et dans la surdité de naissance. Il y a dans la parole deux actes bien distincts : un premier acte tout intellectuel qui consiste à prêter un sens convenu d'avance à un son déterminé; un second acte qui consiste à reproduire ce son par le mécanisme qui a été exposé précédemment. Pour comprendre la valeur d'un son, il faut que l'oreille le perçoive, et c'est là ce qui explique comment les enfants qui viennent au monde avec une surdité complète ne peuvent jouir des bénéfices de l'éducation commune. Il faut employer pour eux d'autres moyens que ceux qui sont généralement usités, et c'est ainsi qu'on parvient à leur communiquer des notions dont ils seraient restés éternellement privés.

Le *bredouillement* consiste dans l'articulation précipitée, incomplète, des mots : il est bien moins le résultat d'une organisation mauvaise des organes de la parole que d'une disposition fâcheuse de l'organe cérébral : le bredouillement s'observe dans deux conditions opposées, chez les gens dont l'imagination très vive conçoit à la fois trop de pensées pour que celles-ci aient le temps d'être exprimées, et chez ceux qui, par le fait d'une sorte de paresse intellectuelle, ne prennent pas le temps nécessaire pour exprimer leur pensée.

Le *balbutiement* est un vice de la parole tout à fait opposé au précédent : il consiste dans une hésitation de la parole qui est entrecoupée, traînante, peu distincte : les émotions morales en sont le plus souvent la cause.

Le *grasseyement* est dû à la mauvaise articulation de la lettre *r*, à son remplacement par une autre consonne, ou même à sa suppression complète.

La *blésité* consiste dans la substitution de certaines consonnes à d'autres : de la lettre *l* à la lettre *r*, de la lettre *j* à la lettre *z*, de la lettre *v* à la lettre *f*.

Le *bégaiement* est une affection caractérisée par une difficulté plus ou moins grande dans l'émission de la parole, difficulté souvent accompagnée d'un certain trouble dans les mouvements des muscles respirateurs. On a expliqué le bégaiement de plusieurs manières, ou plutôt on en a donné plusieurs théories, et l'on a fondé sur chacune d'elles des modes de traitement bien différents. Je n'entrerai pas dans l'examen de ces diverses questions, et sous ce rapport je renvoie le lecteur aux traités spéciaux sur le bégaiement (1).

DES SENS EN GÉNÉRAL.

I. Afin d'établir des rapports avec le monde extérieur, nous possédons des appareils organiques susceptibles de recevoir, de la part des corps environnants,

(1) Consultez : REIL, *Diss. de vocis et loquelæ vitiis*. Halle, 1793. — ITARD, *Mém. sur le bégaiement*, dans *Journ. univ. des sc. méd.*, 1817, t. VII, p. 129. — VOISIN (Félix), *Du bégaiement; ses causes, ses différents degrés*, etc. Paris, 1821. — SERRES, *Mém. sur le bégaiement*. Dans *Journ. des difformités*, etc., n° 11, 1829. — HERVEZ DE CHÉGOIN, *Recherches sur les causes et le traitement du bégaiement*. Dans *Journ. général de méd.*, 1830, t. III, p. 206. — MAGENDIE, *Rapport sur un moyen de guérir le bégaiement de madame Leigh, de New-York*. Dans *Journal général de médecine*, 1828, t. CIII, p. 78. — COLOMBAT, *Du bégaiement et de tous les autres vices de la parole, traités par de nouvelles méthodes*, 2e édit. Paris, 1831, in-8°. — A. BECQUEREL, *Traité du bégaiement et des moyens de le guérir*. Paris, 1843.

certaines impressions spéciales et de les propager à un nerf qui, à son tour, les transmet à l'encéphale : là, elles produisent une sensation, transformée elle-même, par une élaboration inconnue, en une perception, c'est-à-dire, en une sensation dont nous avons conscience. Ces appareils, au nombre de cinq, sont appelés *organes des sens.*

Pour que cette dénomination puisse, anatomiquement parlant, être attribuée à une partie de notre corps, il faut que cette partie ait à son service : 1° un appareil spécial plus ou moins complexe et destiné à recueillir des *impressions externes ;* 2° un nerf ou moyen de communication avec l'encéphale ; 3° un point de l'encéphale, capable de les élaborer.

Sous le rapport physiologique, l'organe de sens est chargé de mettre l'animal en relation avec les corps extérieurs, pour que, d'une part, celui-ci en reçoive des impressions, et que, de l'autre, il réagisse sur eux. Il résulte de là que les impressions qui ont leur siége dans quelque muqueuse ou dans un organe parenchymateux, impressions dont la cause n'est pas le contact d'un corps extérieur, ne produisent pas de sensations proprement dites, mais trahissent seulement un besoin qui veut être satisfait pour que la vie puisse se continuer.

Parmi les animaux sans vertèbres, il en est qui manquent d'un ou de plusieurs sens, et, parmi les vertébrés, il y en a qui sont pourvus de sens, sauf le toucher, plus délicats et plus précis que ceux de l'homme : mais, en général, ce dernier surpasse les animaux en ce que ses sens sont tous uniformément et également développés ; il les surpasse surtout en ce que son esprit charge l'appareil sensoriel, ce pont jeté entre le monde matériel et le monde immatériel, de refléter des idées capables d'occuper l'intelligence et d'entraîner le cœur ; en d'autres termes, l'homme a sur les animaux l'avantage d'ennoblir les sensations que lui procurent les sens.

Y a-t-il des êtres doués d'organes de sens qui nous manquent ? Nous ne le savons pas. L'expérience tend à établir quelques faits de ce genre, mais ces faits ne permettent pas de conclure qu'il en soit ainsi réellement. Rien ne répugne, du reste, à supposer qu'il y ait, dans l'univers, des corps munis de propriétés dont il nous est impossible de nous faire une idée, parce que nous n'avons pas l'organe sensoriel spécial pour en acquérir la connaissance.

Les sens ne nous donnent pas des notions absolues du monde extérieur ; ils ne font que le réfléchir comme ferait un miroir, et nous ne pouvons savoir jusqu'à quel point les images réfléchies correspondent à leurs objets réels. Cependant il est permis d'admettre que, les organes de tous les hommes étant analogues et les causes physiques des impressions étant les mêmes, la perception doit s'opérer chez tous de la même façon, si toutefois des circonstances accidentelles ne s'y opposent pas.

A propos de l'étude des sens, en général, s'offrent naturellement les questions suivantes : nos idées sont-elles exclusivement acquises à l'aide de ces mêmes sens, ou sont-elles innées, exclusivement fournies par l'âme, ou bien proviennent-elles de ces deux sources à la fois ?

Les réponses à ces questions, dont nous nous occuperons seulement à l'occasion des facultés intellectuelles, se résument en deux systèmes philosophiques qui, sous le nom de *sensualisme* et d'*idéalisme*, se sont toujours combattus. Les partisans de l'un cherchent l'origine de nos connaissances en dehors d'eux ; les partisans de l'autre, en eux-mêmes. Les premiers observent trop, et, s'occupant trop de la matière, ne réfléchissent pas assez ; les derniers réfléchissent trop, et,

ayant trop de principes, ne se livrent pas suffisamment à l'observation. Chacun de ces deux systèmes, pris séparément, ne présente néanmoins qu'une moitié d'un seul système, aussi incapable d'être scindé qu'il est impossible de scinder la nature humaine, d'isoler l'élément matériel de l'élément immatériel. Nous puisons nos idées à plusieurs sources, et le corps et l'âme participent à leur génération.

II. Les organes des sens ont cela de particulier, qu'ils commencent leur vie bien auparavant leurs fonctions ; les autres organes, au contraire, la commencent au moment même où leurs fonctions s'établissent : ainsi, les vaisseaux naissent avec la circulation, tandis que l'œil est formé longtemps avant que la vision se manifeste pour la première fois.

L'appareil physique de chaque sens est d'autant plus complexe, que le point de l'économie où cet appareil a son siége doit moins contribuer à l'accomplissement d'autres fonctions. Ainsi, pour ce qui concerne le tact qui réside dans la peau dont chaque particule remplit plusieurs fonctions, l'appareil physique, afin de ne pas gêner ces fonctions, est presque nul ; il est déjà un peu modifié pour le toucher, qui n'est lui-même qu'une modification du tact porté à un degré plus élevé. Pour la langue, organe appelé à remplir plusieurs fonctions, mais moins nombreuses que celles de la peau, l'appareil physique est déjà plus complexe sans qu'il perde pourtant certains caractères de simplicité. Le nez, remplissant encore moins de fonctions que la langue, possède un appareil physique plus compliqué que celui du goût. Les nerfs sensoriels des trois organes de sens dont nous venons de parler n'ont besoin, pour recevoir l'action de leurs excitants, que de plonger par leur extrémité périphérique dans une membrane où ils puissent présenter à ces excitants le plus grand nombre possible de points de contact. Des papilles, des plis et replis suffisent à cet effet. Les nerfs optique et acoustique, au contraire, se rendant chacun à un lieu où il ne doit y avoir qu'une seule fonction, ont chacun aussi un appareil physique des plus complexes, et c'est grâce à lui que les ondes lumineuses et sonores sont recueillies, conduites, concentrées, réfractées, réfléchies, etc.

De tous les sens, c'est le tact seul qui s'exerce pendant la vie intra-utérine ; car le fœtus réagit, par un mouvement, sous une pression faite au ventre de la mère, même sous l'application du froid et du chaud. Aussitôt après la naissance, c'est encore la peau de l'enfant qui, exposée à l'air, commence la première sa fonction tactile ; la respiration réveille l'odorat ; l'introduction des aliments dans la cavité buccale, le goût ; les mouvements volontaires, le toucher ; enfin s'établissent la vision et l'audition.

Aussitôt que les organes des sens sont entrés en exercice, ils constituent un tout complet. Voilà pourquoi la perte d'un sens peut, jusqu'à un certain point, être compensée par le service d'un autre ; pourquoi le développement parfait d'un sens ne peut être atteint qu'en prenant en considération le développement simultané d'un ou même de plusieurs autres. La vue est aidée et souvent rectifiée par le toucher ; l'ouïe par la vue, et quelquefois par le concours de la vue et du toucher, etc. Aucun des sens ne peut toutefois faire défaut sans qu'il y ait en même temps une grande lacune dans la sphère de nos connaissances : il en est parmi eux, surtout deux, qui sont si intimement liés à notre intelligence que leur absence transforme l'homme presque en une plante.

Si les sens ont un rapport intime avec notre esprit, ils en ont un aussi avec

notre corps : tantôt ils le surveillent, tantôt ils le protégent. L'odorat est le gardien de la respiration ; le goût, de l'appareil digestif ; le toucher sert de guide aux organes locomoteurs, etc. Il est naturel que les organes des sens aient avec le système nerveux des relations plus étroites qu'avec tout autre système, puisque l'idée d'organe de sens renferme déjà à demi l'idée d'organe nerveux. La liaison qui existe entre les organes des sens et le système musculaire est encore très évidente ; car plus un organe de sens a de muscles, plus aussi son développement et sa vie sont augmentés. Pour se pénétrer du rapport des organes des sens avec la nutrition, il suffit de se rappeler que la nutrition est la première manifestation de la vie en général, et que la réaction en est une seconde, mais portée à une sorte de deuxième puissance. Si donc, dans la vie des sens, cette dernière manifestation est indispensable, la première ne l'est pas moins. En effet, le plus ou moins d'activité d'un sens marche de front avec le plus ou moins de nutrition de son organe, et *vice versâ*. Une grande fatigue de la vision peut amener une inflammation de l'œil ; le défaut d'action d'un sens entraîne bientôt le dépérissement de son organe.

Les organes des sens, à l'instar du système nerveux, sont plus ou moins soumis à la loi de périodicité. Placés entre ce système et le monde extérieur qui également obéit à une périodicité, ils doivent la plus grande partie de la leur à l'une et à l'autre, et le restant à celle des autres systèmes de l'économie. Cette périodicité se déclare d'une manière particulière dans l'œil, et ici elle dépend aussi bien de la périodicité diurne du lever et du coucher du soleil que de la périodicité de réparation de l'innervation après son épuisement. La périodicité de l'odorat est liée à celle de la respiration ; celle du goût, à la réception périodique des aliments ; le toucher et l'ouïe ne reconnaissent d'autre périodicité que celle qui se rattache à la réparation et à la déperdition de l'innervation.

III. Chacun de nos sens peut manifester une sensation consécutive, c'est-à-dire une excitation qui, provoquée par un objet extérieur, persiste encore après que cet objet extérieur a cessé d'agir sur ce sens. Sous ce rapport, l'exemple le plus connu nous est fourni par un charbon incandescent suspendu à un fil, tournant rapidement en rond, et décrivant ainsi un cercle de feu. Une oreille délicate, qui, pendant plusieurs heures de suite, a entendu un tintement aigu de cloches, entendra encore ce tintement, quand même ces cloches ne sonneront plus. Si, pendant longtemps, on comprime dans la paume de sa main une pièce de monnaie, on la sentira encore lorsque cette pièce n'y sera plus. Celui qui, sans interruption, a été pendant plusieurs jours cahoté dans une mauvaise voiture, surtout en passant sur un chemin raboteux, croit encore éprouver les commotions de son corps lorsqu'il est tranquillement couché dans son lit. Les sensations consécutives du goût sont trop nombreuses et trop vives pour qu'il soit nécessaire d'en citer un exemple. Les sensations consécutives de l'odorat sont moins connues : la circonstance que des particules odorantes peuvent être retenues sur la muqueuse nasale, ou dans les sinus voisins, et agir encore sur le nerf olfactif lorsque le corps dont elles émanent est déjà soustrait au champ olfactif, fait que l'on a contesté à l'odorat les sensations consécutives. Ne serait-il pas possible qu'ici la sensation consécutive de particules odorantes déjà soustraites au nerf olfactif se confondît avec la sensation première d'autres particules qui agiraient encore sur ce nerf ?

Les phénomènes de la sensation consécutive peuvent s'expliquer de la manière suivante : un excitant extérieur agit sur un organe de sens, et le fait par conséquent sortir de son état de repos pour le mettre dans un état d'excitation. Si maintenant l'excitant cesse d'agir sur l'organe de sens, celui-ci doit naturellement revenir à son état de repos. Cependant ce passage ne se fait pas brusquement ; il s'établit, au contraire, lentement, successivement, de sorte que jusqu'au repos absolu, l'excitation du nerf sensoriel persiste bien, mais en diminuant peu à peu d'énergie.

Comme chaque excitation d'un nerf sensoriel entraîne une sensation conforme à la nature de ce nerf, le passage successif de cet état d'excitation à l'état de repos doit aussi être accompagné d'une sensation, diminuant, à son tour, successivement d'intensité.

Pour généraliser le phénomène de la durée des sensations consécutives, on pourrait formuler la loi suivante :

La durée de la sensation consécutive est en raison directe de la durée ou de l'intensité de l'impression de l'agent extérieur.

Les sensations consécutives sont proportionnellement plus longues dans les sens qui se rattachent à la vie végétative que dans ceux qui s'adressent à la vie intellectuelle ; toutes néanmoins rentrent dans la catégorie des sensations subjectives, et par conséquent peuvent, à la longue, conduire à des erreurs.

IV. Les erreurs des sens peuvent dépendre de plusieurs causes, qui sont physiques, physiologiques ou psychologiques.

1° *Causes physiques.* — Elles se trouvent dans les phénomènes du monde extérieur. Ainsi un objet éloigné se projette sur la rétine, et par conséquent fait naître dans la perception une image plus petite que le même objet plus rapproché de l'œil. Un son fort, venant de loin, n'est pas autrement perçu que le même son faible, mais proportionnellement plus près de l'oreille. Un objet extérieur bien éclairé paraît trouble lorsque les ondes lumineuses qui en émanent traversent une atmosphère nébuleuse.

On peut rapporter à ces causes les impressions trop prolongées (sensations consécutives) et celles qui se font sur les sens d'une manière à laquelle ils ne sont pas habitués, comme l'écho, la ventriloquie, le mirage, etc.

2° *Causes physiologiques.* — Elles résident dans une modification de l'organe de sens lui-même. Ainsi une cataracte commençante rend les objets extérieurs troubles ; un cristallin fendu en deux les fait voir doubles. Une forte congestion sanguine, qui atteint le nerf acoustique, peut produire dans l'oreille un bruit semblable à celui du vent qui souffle dans une forêt. Si l'on met à cheval le doigt médius sur l'index de la même main, on éprouvera, en touchant avec les points de jonction de ces deux doigts un petit corps sphérique, la sensation de deux corps. Un fil tourné en spirale autour d'un bâtonnet, qui exécute rapidement des mouvements de rotation autour de son axe, paraît se mouvoir en serpentant selon sa longueur, etc.

A ces causes d'erreurs, nous pourrions rapporter ces impressions extérieures sur un nerf sensoriel qui sont capables d'épuiser sa sensibilité : ainsi une odeur forte et permanente émousse l'organe de l'olfaction pour quelque temps ; un bruit étourdissant prive l'oreille de la faculté de percevoir des sons plus faibles ; une lumière éblouissante empêche l'œil de voir, etc.

3° *Causes psychologiques.* — Elles dépendent de l'activité intellectuelle. Ainsi le défaut d'attention ou d'intérêt, pour un objet extérieur, peut faire que l'organe de sens ne les reçoive pas d'une manière qui leur soit conforme, circonstance qui doit nécessairement modifier les idées que ces impressions produisent dans l'entendement.

Toutes les erreurs des sens ne sont que des erreurs sur la quantité, la qualité ou la localité des corps extérieurs. La vue et l'ouïe en commettent plus que le toucher et tous les trois, à l'état de santé, plus que l'odorat et le goût : mais, lorsque, le corps est malade, ces deux sens, intimement liés à la vie végétative, sont sujets à plus d'erreurs que les autres.

Des deux sens qui s'adressent particulièrement à l'intelligence, c'est la vue qui commet plus d'erreurs que le toucher, et voici pourquoi : 1° Pendant la veille, la vue est occupée presque sans interruption ; l'esprit est presque constamment occupé de sensations visuelles ; le toucher, au contraire, est moins souvent employé. 2° Le champ de la vision est infiniment plus étendu, et embrasse, par conséquent, plus d'objets que celui du toucher. 3° La vue étant un sens médiat et le toucher un sens immédiat, les modifications que le milieu lumineux peut subir, depuis son origine jusqu'à l'image visuelle, n'existent pas pour l'image tactile.

Tous les sens veulent être occupés, et leur énergie diminue à mesure qu'ils restent plongés dans l'inactivité. On peut dire qu'à l'état de veille, la vue, l'ouïe et le toucher trouvent toujours de l'occupation, quand même ces occupations ne seraient pas toujours bien sérieuses ; l'odorat et le goût sont moins favorisés sous ce rapport. Quelle position pénible que celle de ne pas dormir pendant une nuit obscure et silencieuse ! Combien de fois ne faisons-nous pas du bruit en chantant ou en sifflant ? Que de fois, machinalement, il nous arrive d'agiter une canne ou tout autre objet que nous tenons à la main, pour arracher nos organes de la vue, de l'ouïe et du toucher à leur inertie ! Ne pourrait-on pas dire que, pour désennuyer et réveiller de temps à autre le goût et l'odorat, on a inventé le *priser*, le *fumer* et le *chiquer* ?

Les organes des sens, étant formés par des tissus qui presque tous appartiennent aussi à d'autres organes, sont sujets à toutes les altérations qui peuvent atteindre ces derniers ; de plus, ils ont des altérations spécifiques qui, pourtant, ne reposent en général que sur une augmentation, une diminution ou une modification qualitative de la sensation.

Du reste, les maladies et même la mort des sens, bien que ceux-ci exercent une action immense sur la vie intellectuelle, sont presque insignifiantes pour la vie matérielle ; le plus souvent, elles n'empêchent même pas l'individu de jouir d'une santé relative. Enfin, lorsque la mort naturelle doit avoir lieu, l'œil se ferme le premier, l'odorat meurt avant le goût, le toucher avant le tact et la sensation de température ; l'ouïe est le sens qui s'éteint après tous les autres.

V. Les nerfs sensoriels, jusqu'à une époque assez rapprochée de nous, étaient supposés ne pouvoir transmettre à l'encéphale que certaines qualités des corps : le nerf optique, la lumière ; le nerf acoustique, les vibrations sonores, etc. Mais cette manière de voir, vraie dans la très grande généralité des cas, n'était pourtant pas encore assez étendue. L'observation prouve que le même excitant, appliqué aux différents nerfs sensoriels, éveille dans chacun d'eux une sensation différente, quoique toujours la même pour chaque nerf en particulier. Ainsi l'électricité, appliquée sur l'œil, provoque dans cet organe des phénomènes lumineux ; appliquée sur l'oreille, des sons ;

sur le nerf olfactif, une odeur analogue à celle du phosphore; sur la langue, une saveur ou acide, ou alcaline; sur les nerfs tactiles, des commotions. Il en est de même d'autres excitants, bien qu'il ne soit guère possible de les appliquer indistinctement à tous les organes des sens, et de produire, par conséquent, constamment une sensation déterminée. Le même coup de poing senti par les nerfs cutanés, donné sur l'œil, y fait naître un flamboiement, et sur l'oreille une sensation de son. L'agent chimique qui rougit douloureusement la peau provoque une saveur dans le nerf gustatif, et, s'il peut se volatiliser, une odeur dans le nerf olfactif. Quand même certains excitants ne seraient pas directement appliqués aux organes des sens, ils peuvent encore, mêlés avec le sang, produire des phénomènes qui sont habituels à ces organes : les narcotiques, par exemple, introduits dans l'économie, peuvent provoquer des sifflements dans les oreilles, des images lumineuses dans les yeux, etc.

Puisque la lumière, le son, les effluves odorants, etc., ne sont pas seuls à produire dans les yeux, les oreilles, le nez, etc., les sensations qui correspondent à ces qualités des corps, et qu'il y a encore d'autres excitants qui engendrent les mêmes phénomènes dans ces organes des sens, on peut donc formuler la loi suivante :

Un agent extérieur quelconque, capable d'exciter un nerf sensoriel, mais différent de l'agent qui lui est habituel, est aussi capable de provoquer par le concours de ce même nerf la sensation qui lui est spéciale.

Le fait, énoncé dans la loi précédente, est susceptible d'être généralisé encore davantage. Tout le monde connaît les *hallucinations* des sens, dont l'étude, si propre à jeter une vive lumière sur plusieurs phénomènes sensoriels, laisse encore tant à désirer. Ces hallucinations sont provoquées dans les nerfs sensoriels, non pas par des excitants extérieurs, mais par des excitants purement intérieurs; elles se présentent, il est vrai, plus souvent et avec plus d'intensité, lorsque le système nerveux est troublé par une maladie. Ainsi, l'inflammation du nerf optique produit des sensations lumineuses; une congestion cérébrale, des bourdonnements d'oreilles; dans certaines affections, les nerfs tactiles font éprouver aux malades du froid, du chaud, une formication; dans d'autres, on sent des odeurs et des saveurs particulières. Tous ces faits autorisent à formuler une deuxième loi physiologique :

Un agent extérieur quelconque ne peut faire naître, à l'aide d'un nerf sensoriel, une sensation qu'un excitant intérieur ne puisse également faire naître à l'aide de ce même nerf.

Les phénomènes sensoriels, qui doivent leur origine à un excitant étranger à notre corps portent le nom d'*objectifs;* ceux, au contraire, dont l'excitant est en nous, s'appellent *subjectifs*. Un homme peut ne pas avoir dans un organe de sens des sensations objectives et en avoir de subjectives. L'aveugle qui a une opacité complète du cristallin peut se procurer des sensations lumineuses en comprimant son globe oculaire. Un sourd dont les osselets auriculaires sont détruits par la carie peut, à la suite d'une forte congestion cérébrale, entendre un bourdonnement très désagréable pour lui. Du reste, les sensations produites par des excitants objectifs sont les plus fréquentes, et, toutes choses égales d'ailleurs, les mêmes chez tous les individus qui se portent bien. Les sensations subjectives sont les plus rares et constituent en grande partie les hallucinations.

La sensation, bien que toujours la même dans sa nature, se modifie de cinq ma-

nières différentes, mais il est impossible de transporter à tel sens l'impression propre à tel autre ; car nous pensons (1) que la spécialité fonctionnelle des nerfs, en général, dépend d'une essence et d'une origine propres ; qu'il y a, dans la structure de chacun d'eux, dans leur mode d'agir, quelque particularité relative aux fonctions et à la nature de l'organe qu'ils vont animer ; nous croyons que chaque nerf sensoriel possède en lui certaines propriétés *inaliénables*, une réceptivité spéciale pour certaines impressions, et non pour d'autres. Nous ne pouvons donc voir avec l'oreille, ni entendre avec l'œil ; les saveurs ne peuvent être reçues par l'organe de l'olfaction, et si, comme cela arrive quelquefois, on compare une odeur à une saveur, c'est un jugement que l'on porte sur des choses hétérogènes. L'aveugle de naissance qui distingue les couleurs avec la pulpe de ses doigts n'a aucune idée de la lumière : les diverses couches de couleur provoquent en lui des sensations tactiles qu'il rapporte, par son jugement, à la lumière. Il en est alors de lui comme de nous, lorsque, sur une échelle thermométrique, nous apprécions la température avec nos yeux. Certes, l'excitation d'un nerf peut, par l'intermédiaire de l'encéphale, devenir un excitant pour un ou plusieurs autres nerfs : ainsi une lumière éblouissante produit une sensation de pression dans les nerfs sensitifs de l'œil ; un bruit pénétrant, comme le grattement sur une pierre ou sur un morceau de verre, fait naître une crispation dans les nerfs cutanés ; mais ces phénomènes ne sont que des cosensations engendrées par une seule excitation, qui agit sur deux organes différents dans lesquels ces sensations courent parallèlement et tout à fait conformément à la nature de cette excitation. Nous pouvons donc formuler une troisième loi :

Tout nerf sensoriel possède une faculté spéciale en vertu de laquelle il est exclusivement organisé pour une seule espèce de sensations, et incapable de toute autre ; en sorte que la substitution d'un sens à un autre, à l'effet d'obtenir par ce dernier la même sensation qu'a ordinairement le premier, est impossible.

Les trois lois que nous venons d'énoncer font assez voir ce qu'a de défectueux l'ancienne hypothèse, d'après laquelle les organes des sens conduiraient, jusqu'à la conscience, les qualités des corps d'une manière passive et nous donneraient de ces mêmes corps une connaissance immédiate. Ce n'est pas la lumière objective que le nerf optique transmet à l'encéphale : elle n'est qu'un excitant qui produit seulement un phénomène lumineux par la coopération de ce nerf. La corde qui vibre n'engendre pas encore le son, mais le son est produit lorsque la corde vibrante agit sur le nerf acoustique, tandis qu'en agissant sur la peau, elle fait naître dans les nerfs tactiles la propriété qui leur est spéciale, c'est-à-dire de petites commotions alternatives, un chatouillement, un frémissement. La sensation est donc le résultat simultané de l'agent excitant et de la fonction spéciale du nerf : l'un et l'autre la produisent et ils y sont au même degré actifs et passifs.

Si, comme nous venons de le voir plus haut, un sens ne peut être substitué à un autre, néanmoins les sens se rendent mutuellement de grands services : sans la vue, par exemple, l'ouïe n'apprécierait pas toujours la distance du son. Un sens se rend même quelquefois utile à un autre par le fait seul qu'il ne fonctionne pas ou qu'il n'existe pas ; car le sens qui existe, n'étant pas troublé dans son action par celui qui ne fonctionne pas ou qui n'existe pas, peut alors mieux s'exercer et arriver plus

(1) Voyez notre *Traité d'anat. et de physiol. du syst. nerv.*, t. II, p. 179. Paris, 1842.

facilement au plus haut degré de perfection. Combien de fois ne ferme-t-on pas les yeux pour mieux entendre une musique? Cependant, il y a aussi des cas qui font exception à cette règle. Ainsi il est souvent difficile au fumeur le plus ardent qui a les yeux bandés de découvrir si son tabac brûle encore ou non, et au gourmet le plus raffiné de distinguer constamment, sans la vision, les diverses variétés du même vin.

VI. Nous nous proposons de tracer, dans les pages suivantes, un parallèle de divers sens les uns avec les autres.

1° *Parallèle de la vue et de l'ouïe.*—Les phénomènes lumineux et sonores doivent leur origine à des vibrations : sans les vibrations de l'éther, l'œil ne verrait pas ; sans celles de l'air, l'oreille n'entendrait pas. La lumière engendre les sept couleurs du prisme, le son les sept tons de l'octave. Le son n'indique qu'un état passager d'un corps ; la couleur en est une propriété permanente, tant que la disposition moléculaire de ce corps ne change pas. Les couleurs présentent un plus grand nombre de nuances que les sons ; mais, lorsqu'il s'agit de produire une unité totale par la combinaison de plusieurs sons ou de plusieurs couleurs, les premiers ont l'avantage sur les dernières. Deux sons qui se sont harmonieusement combinés font entendre non seulement leur accord, mais aussi chacun des deux se fait entendre en particulier. Au contraire, l'association de deux couleurs fait naître une couleur nouvelle dans laquelle l'œil ne distingue plus les couleurs primitives qui la composent. Quelque rapide que soit une succession de tons, l'oreille les distingue ; mais un disque diversement coloré et tournant autour de son axe, même avec une vitesse relativement moins grande, ne laisse plus voir aucune de ses couleurs, qui toutes se confondent en celle du gris.

L'ouïe entretient avec la vie, en général, des rapports plus intimes que la vue. Des sensations sonores très fortes exercent sur le système nerveux une action plus pénétrante que des sensations visuelles. Le rhythme, qui est si propre au sens de l'audition, se communique aisément à tout l'organisme : qui n'a pas éprouvé sur son esprit les effets d'un *adagio* ou d'un *allegro?* Qui ne s'est trouvé forcé, en entendant une marche militaire, d'adapter ses pas à la mesure de cette musique? Les couleurs ne nous offrent rien d'analogue.

La manière dont les organes de la vision et de l'audition recueillent et élaborent les impressions extérieures diffère essentiellement. L'œil embrasse le champ de la vision en un seul instant, mais vaguement ; l'oreille ne perçoit qu'un son individuel, qu'une seule harmonie, mais avec précision. Le sens de la vue décompose l'ensemble indéterminé qu'il reçoit en idées partielles, les éclaire, pour ainsi dire, afin d'arriver à la netteté de l'idée totale par la voie de l'analyse ; l'oreille, au contraire, combine les tons divers pour en faire une mélodie, et procède par synthèse. L'œil, en analysant, se dirige volontairement vers les objets divers qui se trouvent dans le champ de la vision ; l'oreille, en recevant les vibrations sonores, reste immobile, mais elle est entraînée involontairement au torrent de la mélodie. L'œil va au-devant de ce qui lui est agréable, fuit ce qui lui déplaît, reflète l'esprit et le cœur, se dérobe même, par l'occlusion des paupières, à la nature visible. L'oreille ne fait que recevoir, et ne reflète rien ; elle est toujours ouverte, toujours exposée à subir les impressions du monde extérieur, elle n'a pas de moyen propre d'échapper à ce qui lui déplaît. Aussi l'organe de la vision a-t-il sur l'organe de l'audition une prédominance d'activité : dès qu'il a connaissance de la lumière et des couleurs, il leur donne, au moyen d'un travail intérieur, des formes déterminées, en rapports

chaque point de la rétine affecté par un rayon lumineux à un point déterminé de l'espace d'où ce rayon est venu, et il crée ainsi, par la réunion de tous ces rapports, le monde de ses idées. Quant à l'organe de l'ouïe, s'il rapporte à des corps extérieurs les impressions qu'il en a reçues, ces impressions sont plus vagues et plus indéterminées ; pour créer le monde des idées sonores, l'âme n'a qu'à appliquer aux sons un ordre successif. Le sens de l'ouïe finit donc son rôle avec la perception, tandis que celui de la vue agit encore lorsque la perception a déjà eu lieu. Voilà pourquoi les sensations auditives réclament moins d'activité de la part de l'âme que les sensations visuelles. L'esprit, dans ses méditations, est moins troublé par des bruits que par les objets qui s'adressent au sens de la vue. On pourrait dire que la forme visible va droit à l'intelligence, la forme sonore aux sentiments affectifs.

Tout le monde connaît la puissance de la musique : une fausse note blesse l'oreille plus qu'un faux coloris ne blesse l'œil ; une mauvaise musique nous déplaît plus qu'une mauvaise peinture ; pour jouir d'une bonne musique, il suffit de l'écouter, et pour jouir d'un bon tableau, il faut d'abord le comprendre.

On a avancé que la vue et l'ouïe ont sur les autres sens l'avantage de pouvoir se rappeler volontairement ce qu'ils ont donné. Est-il bien certain que l'odorat ne puisse se rappeler l'odeur de l'éther sulfurique, de l'hydrogène sulfuré, de l'assa fœtida, etc. ; le goût, la saveur du sucre, du sel, du poivre ; le toucher, la forme d'un cube, d'une boule ? etc. Dans tous ces cas, il est vrai, l'imagination vient aider la mémoire des sens.

Si maintenant nous passons au parallèle anatomico-physiologique des sens de la vue et de l'ouïe, nous trouvons que tous les deux, comme d'ailleurs les autres sens, ont un appareil physique pour recevoir les impressions extérieures, et un moyen de communication avec l'encéphale. L'appareil physique se compose, pour la vision, des paupières, de la cornée, de la sclérotique, des diverses *chambres* et des parties nombreuses qu'elles renferment, jusqu'à la rétine ; pour l'audition, de l'oreille externe, de l'oreille moyenne et du labyrinthe avec ses humeurs, ses sinuosités, etc. Les moyens de communication sont le nerf optique avec son expansion, la rétine ; le nerf acoustique avec son expansion dans le labyrinthe.

L'appareil physique de la vue est à celui de l'ouïe comme la physique de la lumière est à la physique du son. Sans prendre en considération ici la transformation de la peau en muqueuse plus ou moins parfaite, à l'entrée des deux organes (conjonctive et membrane interne du conduit auditif) ; ni les follicules situés entre les faces adhérentes de ces membranes et les cartilages (glandes de Meïbomius et glandes cérumineuses) ; ni les productions pileuses situées à l'endroit même où l'enveloppe générale change de nature (cils et vibrisses auriculaires), nous dirons que le conduit auditif externe correspond à la cornée et à la chambre antérieure, la membrane du tympan à l'iris, la caisse du tympan à la chambre oculaire moyenne, les osselets au cristallin, et l'humeur de Cotunni au corps vitré. L'analogie de ces diverses parties entre elles repose, d'une part, sur leur disposition anatomique, et, de l'autre, bien plutôt sur l'identité de leurs fonctions qui consistent à conduire les ondes sonores et lumineuses et à en renforcer les effets. Ce renforcement est obtenu, dans l'œil et dans l'oreille, conformément à la nature de la lumière et du son. La lumière, en traversant les corps, change de direction : elle devient divergente ou convergente par réfraction. Le son, au contraire, conserve sa direction en traversant les corps qui, selon leur nature, le concentrent ou l'affaiblissent. La réfraction

est donc dans la vision l'agent principal, la conductibilité l'est dans l'audition. Ce dernier sens, pour arriver à la concentration des ondes sonores, a même recours à la réflexion.

Les parties constitutives et en apparence si différentes des organes de la vue et de l'ouïe, exercent des fonctions analogues : la cornée représentant le conduit auditif externe, l'une et l'autre reçoivent la première action de la lumière et du son; l'une et l'autre les concentrent et les conduisent aux organes situés plus profondément, la cornée le fait par réfraction, et le conduit auditif externe par réflexion. L'iris sépare la chambre antérieure de la chambre moyenne ; la membrane du tympan sépare le conduit auditif externe de la caisse du tympan. L'iris (sans pupille pendant une certaine partie de la vie intra-utérine) est entouré de liquide; la membrane tympanique, d'air. Quant aux fonctions de ces deux membranes, celle du tympan sert à modifier en plus ou moins l'énergie du son ; l'iris, l'intensité de la lumière. Toutes deux ne sont pas directement sollicitées dans leurs fonctions par la lumière et le son; il faut préalablement que la rétine ait réfléchi la lumière et que le nerf acoustique, averti par l'entendement que l'énergie de l'audition avait besoin d'être modifiée, ait réagi, par une action réflexe, sur l'appareil musculaire de la membrane du tympan. L'iris et la membrane du tympan sont généralement soustraits à la volonté par l'accession d'un certain nombre de filets nerveux provenant du système nerveux ganglionnaire.

Derrière l'iris et derrière la membrane du tympan, commence un deuxième appareil physique destiné à renforcer les impressions visuelles et sonores : pour l'œil, c'est la chambre moyenne, pour l'oreille la caisse du tympan ; toutes deux sont limitées en dehors par une membrane, l'iris et la membrane du tympan : toutes deux sont séparées, en dedans, de la partie la plus interne de l'organe des sens au moyen d'une paroi concave, c'est-à-dire la dépression du corps vitré et la paroi osseuse de la caisse, laquelle paroi, s'éloignant d'ailleurs, par ses élévations et ses enfoncements irréguliers, de la forme sphérique, communique aussi, pour renforcer les vibrations sonores, avec un appendice osseux considérable, l'apophyse mastoïde. L'appareil réfringent de la chambre moyenne, le cristallin, ressemble à la chaîne des osselets de l'ouïe, en ce que le premier, par la concentration des ondes lumineuses, et la dernière, par la matière dure qu'elle offre comme corps conducteur aux ondes sonores, augmentent l'énergie de l'impression. Le cristallin, à cause de son but dioptrique, avait besoin d'une forme déterminée, tandis que les osselets, agissant par leur propre substance, pouvaient s'en passer.

Les dernières vibrations de la base de l'étrier sont communiquées à travers le trou oval à l'humeur du labyrinthe, laquelle les transmet au nerf acoustique : le cône lumineux réfracté par le cristallin prend son chemin à travers le corps vitré vers le nerf optique. Nous voici arrivés à l'entrée du labyrinthe et de la chambre postérieure de l'œil. Ici les organes de la vision et de l'audition s'éloignent tant par leurs formes hétérogènes, que nous sommes forcés d'arrêter le parallèle des analogies. L'ensemble du vestibule, des canaux semi-circulaires et du limaçon, manque d'unité de formes; l'expansion du nerf acoustique poursuit et tapisse la paroi interne du labyrinthe ; la rétine, expansion du nerf optique, reçoit la lumière par sa face concave.

Si maintenant nous passons à l'appareil moteur des deux sens, et d'abord à celui qui est à l'entrée du sens, nous trouvons une analogie entre l'oreille externe et les paupières. Toutes deux sont formées de cartilages, sont recouvertes de l'en-

veloppe générale et munies de muscles; elles ouvrent l'organe du sens au monde extérieur, la lumière passant par la fente interpalpébrale, le son par le conduit auditif cartilagineux. Chez l'homme, il est vrai, les mouvements de l'oreille cartilagineuse sont nuls; mais ils existent d'une manière très prononcée chez beaucoup d'animaux qui peuvent tourner le pavillon vers le côté d'où vient le son. Les paupières laissent arriver la lumière à la cornée, le pavillon force les ondes sonores d'aller trouver la membrane du tympan.

Si, comme nous venons de le dire, le pavillon contribue à assurer la fonction de la membrane du tympan, la fente interpalpébrale participe également à la fonction de l'iris. A l'instar de la pupille, elle se contracte non seulement à une lumière trop forte et s'ouvre à une lumière trop faible, mais aussi elle se rétrécit lorsque l'on veut voir des objets trop éloignés ou trop rapprochés. Le pavillon procure donc, par sa forme, à la membrane du tympan, l'usage que les paupières procurent à l'iris par leurs mouvements.

Mais la vision est encore douée d'un autre appareil moteur infiniment plus parfait, appareil qui, selon les déterminations de la volonté, tourne l'œil en diverses directions, tantôt pour mieux reconnaître un objet visuel, tantôt pour changer le champ de la vision. Ce système musculaire, entièrement séparé des muscles des paupières et ayant ses nerfs propres, n'a pas son analogue dans l'organe de l'audition, où la cavité du rocher qui représente l'orbite renferme d'une manière immobile, et comme enclavés dans sa masse, le labyrinthe et la caisse du tambour. Le globe oculaire devait se mouvoir; car son enveloppe extérieure étant en grande partie opaque, et ne présentant par conséquent à la lumière qu'un petit segment transparent, la cornée, il ne pouvait embrasser qu'une partie de l'espace; mais, pour compenser cette défectuosité apparente, nous changeons immédiatement et volontairement le champ de la vision, et ce changement s'opère par le système musculaire en question.

Lequel des deux sens, de la vue ou de l'ouïe, est le plus nécessaire à l'homme? Nous n'hésitons pas un instant à dire que c'est la vue. Elle fournit plus de matériaux à l'intelligence que l'ouïe, et contribue essentiellement à perfectionner l'individu. Aussi, chose remarquable, un aveugle de naissance est une rareté, tandis que la plupart des sourds-muets ont apporté leur infirmité en venant au monde. Le sourd, pour remplacer tant soit peu le sens qui lui manque, a recours à la vue; l'aveugle au toucher. Les mouvements vagues et inquiets que subit l'œil du premier, au milieu de grandes réunions d'hommes, ne sont autre chose que les tâtonnements du dernier.

On a souvent demandé lequel, du sourd ou de l'aveugle, était le plus malheureux; les opinions sont partagées sous ce rapport. Il est difficile de faire l'éducation du sourd, mais une fois qu'il sait lire, il peut arriver à un grand développement intellectuel. Quant à l'aveugle, son éducation est plus facile, mais son esprit devient rarement majeur, bien que sa vie soit plutôt une vie de méditation, une vie plus intérieure que celle du sourd.

2° *Parallèle du goût et de l'odorat.* — Le goût et l'odorat ont entre eux une grande affinité; tous deux se rattachent à la vie végétative. Combien de fois le premier de ces sens n'est-il pas modifié, perverti ou même aboli par l'influence qu'exerce sur la langue l'état sain ou morbide du tube digestif! L'odorat est si *intimement lié à la respiration*, qu'une sensation odorante n'est possible que par un

acte respiratoire ; les odeurs les plus fortes ne sont pas senties au moment où la respiration est suspendue ou pendant que l'expiration a lieu. C'est encore la liaison de ces deux sens avec la vie végétative qui fait qu'ils avancent notre bien-être matériel en nous attirant, et surtout les animaux, par la sensation du plaisir, vers ce qui nous est utile et agréable, et en nous éloignant, par la sensation du déplaisir, de ce qui nous est désagréable et nuisible. Le goût néanmoins a une utilité plus grande que l'odorat, non seulement parce que les organes digestifs, auxquels il sert de protecteur, sont exposés à un plus grand nombre d'agents pernicieux que le système respiratoire, mais aussi parce que son champ d'action est plus étendu ; car on peut, en général, soutenir que tout corps qui agit sur l'odorat est aussi capable, dès qu'il se trouve dans un dissolvant approprié, de faire naître une sensation gustative, mais que tout corps sapide n'est pas absolument odorant. Une autre particularité qui fournit au goût un avantage sur l'odorat, c'est que le premier de ces sens donne son jugement sur la salubrité d'un corps avant que celui-ci ait été mis en contact avec les organes assimilateurs, tandis que le dernier ne juge pas avant qu'une partie du corps extérieur ait déjà, par une aspiration, pénétré profondément dans l'économie. Le nez, pour exercer la fonction de l'odorat, exige un menstrue gazeux ; la langue, pour exercer la fonction du goût, un menstrue liquide, et pour qu'elle n'en manque pas, elle a dans son voisinage plusieurs sources. Néanmoins, ce n'est pas l'état gazeux comme tel qui affecte l'odorat, ni l'état liquide comme tel qui affecte le goût : la substance qui se trouve dans l'un ou l'autre de ces états doit aussi être odorante ou sapide, c'est-à-dire exciter d'une manière spéciale les nerfs olfactif et gustatif.

Du reste, la liaison intime de ces deux sens exclut presque toute espèce de parallèle de l'un avec l'autre. Cette liaison va même jusqu'à confondre les sensations gustatives et olfactives à cet endroit du pharynx où s'opère une espèce d'entrecroisement du canal respiratoire naso-pulmonaire avec le tube bucco-œsophagien.

3° *Parallèle du goût et du toucher.* — Le toucher et le goût sont de tous les sens les seuls dont l'existence ne se borne pas à un lieu déterminé de l'économie. Le toucher ne se fait pas d'une manière absolue avec la main ; il se fait aussi, quoique d'une manière beaucoup plus imparfaite, avec l'extrémité inférieure. La langue, à son tour, n'est pas le seul organe capable d'une sensation gustative : le voile du palais, les parois du pharynx, etc., partagent avec elle cette propriété. Les organes du goût et du toucher se mettent en contact immédiat avec les agents dont ils sont affectés. Chez l'un et chez l'autre, l'objet extérieur est porté dans la sphère de la sensation par des mouvements volontaires : la main, en se portant activement vers l'objet sensible ; la langue, en ramenant sur sa surface la substance sapide, et la pressant contre les parois de la cavité buccale, surtout contre le palais et les dents.

Relativement aux rapports que les sens entretiennent avec leurs agents respectifs, le goût et le toucher sont plus rapprochés l'un de l'autre que de tout autre sens. En effet, nous trouvons que la langue, autant que la main, est susceptible de sentir les degrés de consistance des corps qui la touchent ; elle est parfaitement à même, au moyen de la résistance plus ou moins forte qu'elle éprouve en appliquant ces corps contre le palais, de distinguer ce qui est dur, mou, etc.

Les variétés de sensations linguales que nous connaissons sous la dénomination de farineux, gras, visqueux, gélatineux, etc., ne sont donc pas des sensations gustatives proprement dites, mais des manifestations qui se rapportent à la

cohésion des corps, manifestations communes à la langue et à l'organe du toucher, et qui, se rattachant à la sensibilité générale de la peau, sont effectuées au moyen de nerfs ramifiés simplement dans cette enveloppe, surtout à ces endroits qui, faute de tissu musculaire interposé, sont appliqués sur un point d'appui osseux, comme le dos de la main, le coude, le genou, l'étendue de l'épine dorsale, etc. Les tissus durs de la cavité buccale exercent, sous ce rapport, la même fonction pour la langue.

Cette sensation de consistance dont nous venons de parler, et qui appartient à toute la surface cutanée, se distingue essentiellement de la sensation spécifique du toucher; cette dernière est plus élaborée que la sensibilité générale et a son siége dans les papilles nerveuses de la pulpe des doigts, et, à un degré plus faible, dans celles des orteils. Cette sensibilité spécifique est d'une plus grande finesse que la sensibilité générale, et elle est à cette dernière ce que le développement plus élevé du tissu papillaire est à la simple ramification des filets nerveux dans la peau. A cette sensation du toucher, correspond dans l'organe du goût la sensation gustative proprement dite, et c'est la différence de ces sensations particulières qui différencie le toucher et le goût; sans cette différence, la langue ne paraîtrait qu'un autre organe du toucher, mais plus incomplet que celui de la main.

La langue et la main fournissent aussi des sensations de formes matérielles, mais, sous ce point de vue, l'organe du goût est restreint à la cavité buccale, tandis que l'organe du toucher, en vertu de sa grande mobilité et de son long support, agit dans un champ beaucoup plus spacieux. Il y a donc, dans la langue, deux sens placés l'un à côté de l'autre : la faculté de sentir les saveurs et la faculté de reconnaître incomplétement, il est vrai, la forme extérieure, et elle exerce cette dernière fonction partout dans la bouche où elle éprouve une résistance. Mais la main reconnaît les formes non seulement en poursuivant, à l'instar du tact, en général, les contours que les corps lui présentent, mais aussi par une sensation tactile plus délicate, s'exerçant surtout par un mouvement de va-et-vient, par une palpation, sur les limites de ces corps; et c'est par cette circonstance que la main se distingue de toutes les autres parties de l'économie qui, par l'association de la sensibilité cutanée avec des mouvements volontaires, peuvent devenir une espèce d'organe du toucher, et comme tel mises au même rang que la langue.

La langue et la main constituent également, chacune, un organe de préhension. De même que la main se porte en avant du corps tangible, de même la langue va au-devant du bol alimentaire pour le faire entrer dans la cavité buccale, où des mouvements ultérieurs de sa part contribuent essentiellement à l'insalivation des aliments et à leur déglutition. Dans plusieurs espèces d'animaux, la signification de la langue comme organe gustatif, et de l'extrémité antérieure comme organe tactile, disparaît totalement ou partiellement, et la préhension prédomine. Ainsi donc se trouvent réunies, dans les organes du goût et du toucher, deux fonctions essentiellement différentes, dont l'une appartient à la sensibilité, l'autre à la myotilité.

Si maintenant nous opposons, anatomiquement et superficiellement, l'extrémité supérieure à la langue, nous trouvons que toutes deux nous présentent, comme tissu fondamental de leur structure, des muscles se groupant, dans la première, autour d'une charpente osseuse, et dans la dernière, autour d'une lame cartilagineuse (Blandin). Néanmoins, dans l'une et dans l'autre, la masse musculeuse a en général une forme analogue; elle prend son origine, au moyen d'une base large, aux os voisins, à la *mâchoire inférieure*, à l'hyoïde, à l'apophyse styloïde du temporal,

ainsi qu'à l'omoplate, à la clavicule, aux côtes, etc., et se rétrécit en convergeant successivement, de manière à représenter une forme pyramidale, recouverte d'un prolongement sacciforme cutané qui, pour l'organe du toucher, constitue les diverses couches de l'enveloppe générale, et, pour la langue, les diverses couches de la membrane muqueuse, lesquelles, à la rigueur, ne sont que celles de la peau, modifiées et réfléchies en dedans : l'épithélium correspondant à l'épiderme, la muqueuse proprement dite au réseau muqueux, et le *velamentum* au derme. Entre le *velamentum* lingual et la membrane muqueuse, d'une part, et le réseau de Malpighi et le derme, de l'autre, sont situées les papilles nerveuses, douées encore d'une turgescence érectile spécifique qui distingue le toucher et le goût de tous les autres sens. Cette texture papillaire ne naît pas, à l'instar du tissu nerveux des autres sens, d'un tronc nerveux unique, mais du concours de différentes paires de nerfs qui, s'anastomosant diversement, aboutissent ensemble aux papilles. Ainsi nous trouvons dans chaque moitié de la langue l'hypoglosse, le glosso-pharyngien et le lingual; dans l'extrémité supérieure, les dernières paires cervicales et la première dorsale, qui se combinent dans le plexus brachial pour donner naissance aux divers troncs nerveux qui se rendent à la peau, aux muscles et aux papilles. Ce qui prouve encore l'affinité étroite du goût et du toucher, c'est un fait d'anatomie comparée, celui que, chez les animaux dont l'organe du toucher fait partie de la tête, comme chez l'éléphant, la taupe, le cochon, etc., cet organe reçoit ses nerfs de la cinquième paire, c'est-à-dire de ce tronc dont une branche, le lingual, constitue l'un des nerfs du goût.

4° *Parallèle de la vue et du toucher.* — Chacun de ces deux sens nous instruit sur la forme des corps extérieurs : le toucher par la résistance, et la vue par les couleurs. Aussi les sensations tactiles spéciales de dur, de mou, de liquide, etc., sont-elles, pour le toucher, en général, ce que les sensations visuelles spéciales de bleu, de rouge, de jaune, etc., sont pour la vue en général. Cependant le sens de la lumière, exclusivement réduit au nerf optique, a, sur celui de la résistance répandu plus ou moins sur la totalité de l'enveloppe cutanée, mais particulièrement concentré dans la pulpe des doigts, a, dis-je, l'avantage de fournir une plus grande variété de sensations précises de couleurs, comme aussi de pouvoir les combiner d'une manière infinie; tandis que les différences que perçoit le toucher ne sont que des degrés divers de pénétrabilité des corps. Combien n'y a-t-il pas de nuances perceptibles entre le jaune clair et le brun foncé, tandis que les degrés de résistance ne sont perçus que dans les corps mous, peu dans les corps liquides, et point dans les corps solides ou gazeux.

Les objets extérieurs se présentent à la vue par l'intermédiaire de l'éther en vibration, et au toucher par le contact immédiat. L'œil les reçoit d'emblée, même lorsqu'ils sont doués des formes les plus variées; l'organe du toucher les reconnaît péniblement en se promenant d'une partie du corps tangible à l'autre, pour composer ensuite, à l'aide de la mémoire, avec les sensations partielles, une sensation totale.

Dans le parallèle de l'organe de la vue avec celui du toucher, il y a presque autant d'analogies que de différences. Ici, les analogies anatomiques doivent se justifier surtout par les fonctions physiologiques. Celles-ci ont, en général, un *triple but* : conduire l'impression, la renforcer et protéger l'organe sensoriel contre les impressions trop fortes.

Les papilles nerveuses de l'organe tactile sont protégées par l'épiderme et le corps réticulaire, tous deux situés entre ces papilles et l'objet tangible; leurs analogues, la sclérotique et la choroïde (cette dernière moyennant son pigmentum), sont les organes protecteurs de la rétine et situés entre cette membrane nerveuse et l'objet visuel.

L'appareil de renforcement de la lumière est composé de la cornée et du cristallin qui, l'un et l'autre, agissent par réfraction; l'ongle et la dernière phalange sont leurs analogues et constituent l'appareil de renforcement de l'impression tactile. Celle-ci, produite par le contact immédiat de l'objet tangible avec les parties molles de la pulpe des doigts, est propagée jusqu'à la phalange et l'ongle, parties plus dures, pour être réfléchie sur le corps papillaire; l'impression réfléchie vient renforcer l'impression directe en se confondant avec elle. Voilà pourquoi le noyau osseux est entouré d'un milieu plus mou (derme et tissu adipeux), de la même manière que le cristallin est entouré du corps vitré et de l'humeur aqueuse, tous deux moins réfringents que lui. Le derme, enfin, envisagé comme simple corps conducteur, est aussi, sous le rapport de cette fonction, l'analogue du corps vitré et de l'humeur aqueuse.

La disposition anatomique des parties analogues qui composent les appareils de la vue et du toucher suit, dans l'un, un ordre directement opposé à celui de l'autre.

Si l'on commence par la partie antérieure de l'œil, la cornée, et par la partie postérieure du doigt, l'ongle, et en procédant successivement, dans l'organe de la vision, de devant en arrière, et, dans l'organe du toucher, d'arrière en avant, on rencontre toujours dans les couches correspondantes des parties analogues dont la série se termine, dans l'œil, par la sclérotique, et, dans le doigt, par l'épiderme. Dans l'œil, le siége de la sensation est au fond de l'organe; dans le doigt, tout près de la face antérieure. Ici l'organe de renforcement se trouve derrière le corps papillaire et l'organe protecteur devant lui; là c'est le contraire: l'appareil de renforcement se trouve au-devant de la rétine, l'appareil de protection derrière elle. L'iris, qui participe des deux fonctions en ce sens que, d'une part, il est le moyen de protection de la rétine, et que, de l'autre, il contribue à rendre plus précise l'image visuelle, se trouve, pour la première raison, en rapport intime avec la choroïde, et il est placé, pour la deuxième raison, entre les deux milieux réfringents.

La différence qualitative des parties analogues des organes des sens en question dépend en grande partie de la nature spécifique de l'agent d'impression. Pour le toucher, l'impression résulte du déplacement mécanique des parties au-devant desquelles le doigt se porte; pour la vision, l'impression est due à la lumière qui se propage conformément à des lois géométriques. Voilà pourquoi, dans le premier cas, le milieu conducteur est un tissu solide et compacte; dans le second, une humeur transparente. Dans le premier cas, le milieu de renforcement est dur et réfléchissant; dans le second, arrondi et réfringent. Dans le premier cas, l'organe protecteur de la couche nerveuse est un tissu corné, l'ongle; dans le second, une surface de couleur foncée, la choroïde.

La reproduction de l'impression extérieure n'est pas la même dans les organes de la vue et du toucher. L'objet tangible entre avec son organe en contact immédiat, exerce, de chacun de ses points et en ligne droite, son influence sur la partie du nerf tactile qui lui est opposée, de sorte que la projection de l'image tactile sur la *surface papillaire est identique* avec la disposition de son objet réel, exacte-

ment comme l'empreinte est identique avec son cachet. Les ondes lumineuses, il est vrai, qui tombent perpendiculairement sur la convexité de la cornée, y sont disposées de la même manière que le sont les différents points de l'objet d'où elles émanent, ainsi que le prouve le phénomène de l'image réfléchie par la cornée; mais cette disposition n'arrive pas telle jusqu'à la sensation : l'image lumineuse se projette sur la concavité de la rétine dans un ordre renversé en comparant cette image à son objet réel ou à son objet tactile.

Les systèmes moteurs des deux sens sont opposés : l'œil n'a qu'un petit nombre de muscles qui le tiennent enfermé dans une cavité osseuse, mais qui lui procurent tous les mouvements dont il a besoin. Les muscles de l'extrémité supérieure entourent leur noyau osseux; étant très nombreux, et, vu la construction articulée du membre, ils sont non seulement capables de le mouvoir dans sa totalité, mais aussi dans chacune des fractions dont il est composé, en lui imprimant des mouvements de flexion, d'extension, d'adduction et d'abduction avec toutes les nuances locomotrices intermédiaires.

Le type de l'organe de la vision présente partout une tendance vers l'unité : l'organe du toucher, au contraire, se divise et devait se diviser, pour se mouler sur les corps tangibles, en fractions qui sont au nombre de cinq. Son système nerveux occupe également cinq fractions, quatre pour les doigts, une pour le pouce : dans l'organe de la vision, il ne forme qu'une seule expansion membraneuse. La loi de l'unité s'étend même aux deux organes de la vision; car les deux yeux, dépendants l'un de l'autre, ne forment à la rigueur qu'un seul organe visuel : ils n'ont qu'un seul champ de vision; les mouvements de l'un correspondent à ceux de l'autre; il y a sympathie dans les oscillations de leurs iris, de leurs paupières, il y a même sympathie dans un grand nombre de leurs maladies. Rien de semblable ne se trouve dans l'organe du toucher; les deux extrémités supérieures sont si loin de former un tout, qu'au contraire chacune d'elles vit de sa propre vie. La main d'un côté agit indépendamment de celle de l'autre côté; elles n'ont entre elles de consensus ni physiologique ni pathologique.

5° *Parallèle de l'odorat et de l'ouïe.* — Les agents qui s'adressent à l'odorat et à l'ouïe s'accordent en ce qu'ils n'arrivent à ces sens qu'après avoir parcouru une distance plus ou moins grande, un milieu commun, l'air atmosphérique. Cependant le champ de l'olfaction est plus rétréci que celui de l'audition. Quelque grande que soit la variété des odeurs, elle repose toujours sur des différences qualitatives ; il n'y a pas de différences quantitatives pour le sens de l'odorat, si ce n'est que telle substance odorante l'affecte d'une manière plus vive et plus énergique que telle autre. Les mêmes circonstances qui agissent sur le son, telles que direction du vent, conductibilité plus ou moins grande de l'air, etc., agissent aussi sur les odeurs. Si l'air atmosphérique est le seul véhicule qui conduise les émanations odorantes, il n'est pour le son que le moyen conducteur le plus commun, puisque tout corps solide ou liquide, selon le degré de son élasticité, est capable de transmettre les vibrations sonores; l'expérience prouve même que le son, conduit à travers ces corps, se renforce et s'étend plus au loin qu'à travers des milieux aériformes. Dans la généralité des cas, il y a, entre les oscillations sonores primitives et l'oreille, un nombre plus ou moins considérable de corps solides interposés qui ne diminuent pas sensiblement le champ de l'audition, mais qui limitent celui de l'odorat et peuvent même opposer un obstacle à la propagation des molécules

odorantes. L'ouïe est donc non seulement un sens plus étendu que l'odorat; mais elle s'exerce aussi dans toutes les directions, ce que ne peut faire l'odorat. Pour sentir les odeurs, il faut que leurs particules entrent par les ouvertures nasales externes; mais, pour entendre des ondes sonores, il n'est pas toujours nécessaire qu'elles passent par le conduit auditif externe, puisque même les os de la tête, placés immédiatement sous la peau, transmettent le son jusqu'au nerf acoustique. Le monde des sons est soumis à notre volonté, nous pouvons les calculer, les disposer selon nos besoins, en faire une œuvre d'art, et nous procurer par là non seulement une jouissance, mais aussi développer notre intelligence; le monde des odeurs, au contraire, se soustrait à notre volonté : leur propagation n'est qu'une dissolution continue, qu'un mélange de leur part à l'air atmosphérique; il est impossible de leur appliquer le calcul; elles ne donnent naissance qu'à un art mesquin dont les plaisirs ne sont dus qu'à des combinaisons de substances odorantes.

Passons maintenant aux particularités qui distinguent l'odorat et l'ouïe, sous le rapport de la sensation. L'un et l'autre de ces sens montrent un caractère de passivité. Le nez et l'oreille reçoivent leurs excitants respectifs, sans aller au-devant d'eux, sans en attirer ni repousser, d'une manière volontaire, les impressions. Ni dans le champ des sons, ni dans celui des odeurs, l'organe de sens ne peut choisir entre ce qui est agréable ou désagréable, puisque les impressions extérieures lui sont, pour ainsi dire, imposées : à l'oreille, par l'impulsion des ondes sonores; au nez, par l'acte de l'inspiration. Tandis que l'œil cherche ce qui lui plaît, se ferme à ce qui lui déplaît; que l'organe du toucher s'attache à ce qu'il aime ou s'en retire lorsqu'il ne l'aime pas; que la langue fait entrer dans sa sphère d'action un corps sapide qui la flatte, ou l'en chasse volontairement lorsque ce corps la blesse, le nez et l'oreille sont ouverts à toutes les impressions agréables ou désagréables, et ne possèdent pas de moyen propre de se mettre à l'abri des dernières. Quant à l'oreille, nous ne pouvons que boucher le conduit auditif externe avec nos doigts; et quant à l'odorat, certes, nous sommes libres, en diminuant l'inspiration ou en la suspendant momentanément, ou en faisant passer une partie de l'air par la bouche, de nous soustraire pendant quelque temps aux mauvaises odeurs ou d'en affaiblir les effets; mais combien ici la volonté est-elle limitée, puisque l'existence de la vie nutritive se rattache intimement à l'intégrité de l'acte respiratoire! L'influence que cette volonté cause sur l'introduction et la propagation de l'impression dépend aussi principalement des modifications de la respiration; l'appareil moteur des narines est ici d'une importance secondaire.

La passivité de l'odorat et la circonstance qu'il est entièrement un sens qualitatif, sont peut-être aussi la cause pour laquelle il fournit si peu à l'intelligence et qu'il est, en général, incapable de servir à établir une science quelconque; mais si ce sens s'éloigne plus ou moins de l'intelligence, il se rapproche davantage du sentiment. Combien n'y a-t-il pas d'odeurs accompagnées de plaisir et de déplaisir, surtout en les comparant aux sensations que nous procurent les sens actifs de la vue, du toucher et du goût! Sous ce rapport, l'odorat se trouve de tous les sens le plus rapproché de l'ouïe. Une suave mélodie fait naître dans l'âme de tendres sentiments; une musique passionnée, des sentiments analogues. Les parfums flattent la vie matérielle et répandent sur le système nerveux quelque chose de voluptueux, mais ils émoussent l'intelligence et la plongent dans une espèce d'apathie; la musique, au contraire, est peut-être le moyen le plus puissant de stimuler l'âme. Les aromes et la musique ont encore cela de particulier qu'ils relèvent réciproquement

les jouissances qu'ils procurent. Mentionnons encore le rapport intime qui existe entre l'odorat et l'instinct de la reproduction : si certaines odeurs excitent à l'amour physique, l'ouïe, par l'intermédiaire de la parole, dispose, au contraire, à un amour plus pur.

Jetons maintenant un coup d'œil rapide sur les conditions organiques des deux sens qui nous occupent.

L'œil, la langue et l'organe tactile sont doués d'une mobilité plus ou moins grande; l'oreille et le nez, au contraire, sont plus ou moins immobiles. La structure de ces deux organes est analogue : chez tous deux le tissu fondamental est osseux. L'intérieur du nez, de même que celui de l'oreille, se présente comme un os creux dont la cavité tortueuse est tapissée d'une membrane muqueuse très fine qui reçoit les nerfs. Cette masse osseuse varie dans les deux organes, selon la nature de leur stimulant extérieur ; elle est d'une dureté extrême dans le rocher, afin de favoriser la réflexion des ondes sonores; elle est, dans la cavité nasale, éminemment molle, celluleuse, en partie spongieuse, afin de mieux aspirer les molécules odorantes et de les mettre en contact avec le nerf olfactif.

Quant à la configuration, le nez et l'oreille forment un canal osseux dont le commencement est cartilagineux. Le canal du rocher, à cause de la réflexion des ondes sonores, est fermé à son extrémité interne, sauf les orifices qui livrent passage aux vaisseaux et aux nerfs; la cavité nasale, au contraire, est ouverte intérieurement et communique avec le pharynx, circonstance nécessaire pour que, au moyen de la respiration, l'introduction des molécules odorantes puisse avoir lieu.

La partie cartilagineuse du nez, ainsi que l'oreille externe, est d'une configuration infundibuliforme, configuration qui est la plus propre à aspirer les émanations odorantes et à recevoir les ondes sonores. A l'entrée du nez et de l'oreille, la peau, en se réfléchissant, devient membrane muqueuse ; la limite de démarcation entre ces deux membranes est recouverte de vibrisses et richement pourvue de follicules.

Les muscles qui se trouvent au commencement du tube nasal et du conduit auditif externe sont de deux espèces : les uns dilatent l'entrée cartilagineuse de l'organe de sens et la déplacent en même temps un peu; les autres la rétrécissent sans la déplacer. Les muscles dilatateurs du conduit auditif externe, les auriculaires supérieur, antérieur et postérieur, correspondent à l'élévateur de l'aile du nez et de la lèvre supérieure et à l'abaisseur de l'aile du nez. Ces deux derniers muscles, en se contractant fortement, tirent en même temps les ailes du nez un peu de leur côté, et ressemblent en ceci à l'auriculaire postérieur. Si, pour les mouvements latéraux des cartilages nasaux, il n'y a point de muscles des deux côtés de chaque narine, c'est qu'à cause de la juxtaposition des deux cavités nasales, il est impossible de mouvoir chacune d'elles de dehors en dedans. Ce mouvement a plutôt lieu par les muscles nasaux ci-dessus nommés du côté opposé, lesquels, par conséquent, peuvent être regardés comme rétrécissant le cartilage de l'autre côté, tout en dilatant celui de leur propre côté. L'élévateur commun est en même temps chargé de la fonction de l'auriculaire supérieur. Les muscles qui rétrécissent l'oreille externe, le grand et le petit muscle de l'hélix, ceux du tragus et de l'antitragus, ont leur analogue dans le transversal du nez. Une particularité des *appareils* physiques de l'ouïe et de l'odorat est que leur nerf moteur est le même, *le facial*, qui envoie des filets au muscle de l'étrier, au tenseur de la membrane

du tympan, ainsi qu'aux muscles extérieurs du nez et de l'oreille ; les organes du goût, de la vue et du toucher possèdent au contraire un ou plusieurs nerfs moteurs propres. La cavité principale de l'appareil physique du nez correspond au conduit auditif externe, y compris la caisse du tambour, caisse qui, à la rigueur, n'est qu'une continuation du conduit auditif externe, séparée de lui par la membrane tympanique. Quant à cette dernière, elle me paraît avoir, au moins comme moyen protecteur de l'ouïe, son analogue dans le voile du palais, moyen de protection aussi pour l'odorat : en effet, si nous nous observons attentivement au moment où une odeur désagréable vient de nous impressionner, nous reconnaissons qu'une forte expiration s'effectue d'abord, dans le but d'expulser l'air odorant, puis que l'inspiration, au lieu de se faire par les narines, a lieu instinctivement par la bouche : alors le voile du palais s'élève, se place horizontalement, tend à fermer en arrière les orifices des fosses nasales, et, en empêchant la circulation de l'air dans leur intérieur, prévient de nouvelles impressions pénibles sur la membrane olfactive.

La cavité nasale, et le conduit auditif externe tel que nous venons de le limiter, aboutissent l'un et l'autre dans le pharynx : le nez, par ses orifices postérieurs ; la caisse du tambour, par la trompe d'Eustache. Le pharynx est donc le point de réunion organique de l'ouïe et de l'odorat ; aussi la membrane pituitaire et la muqueuse du tambour sont-elles des prolongements de la muqueuse pharyngienne. On pourrait même envisager le pharynx comme une cavité appendiculaire de l'odorat et de l'ouïe. Il est d'une grande utilité au premier de ces sens ; et qui n'a pas éprouvé par soi-même qu'en ouvrant la bouche, on entend mieux ?

L'apophyse mastoïde, cavité accessoire de l'oreille, correspond aux sinus frontaux, sphénoïdaux et maxillaires : toutes ces cavités servent à renforcer la sensation.

Si maintenant nous passons à ces parties qui, dans les deux sens, sont situées plus profondément, nous trouvons que les labyrinthes du nez et de l'oreille présentent des formes irrégulières ; mais, dans les deux cas, cette irrégularité est calculée pour augmenter l'intensité de l'impression sensorielle. L'oreille obtient cet effet par un grand nombre de courbures et de sinuosités qui, pour opérer la réflexion des ondes sonores, existent dans son intérieur, et l'organe de l'odorat obtient le même résultat par la multiplication de ses points de contact avec la matière odorante. C'est dans les membranes qui tapissent les cavités, cellules e canaux de l'oreille et du nez, que se répandent le nerf olfactif et le nerf acoustique, qui tous deux ont encore cela de particulier, qu'ils sont les plus mous de tous les nerfs cérébraux. Ils se rendent à leur labyrinthe respectif, le premier par l'incisure ethmoïdale, le dernier par le conduit auditif interne, au fond duquel i, y a deux fossettes qui livrent passage aux deux rameaux du nerf acoustique celui du vestibule et celui du limaçon. Les rameaux du nerf olfactif se partagent également en deux groupes, rameaux internes pénétrant par les trous internes de la lame supérieure de l'ethmoïde pour se rendre aux cellules ethmoïdales, et rameaux externes pénétrant par les trous externes de la même lame, pour se ramifier sur les cornets. Les petits trous qui se trouvent dans la fossette vestibulaire, ainsi que les petits canaux très fins dans la lame spirale du limaçon, correspondent, puisqu'ils laissent passer les filaments les plus ténus du nerf acoustique, à la disposition criblée de la lame supérieure de l'ethmoïde.

On pourrait comparer les cellules ethmoïdales au vestibule, les cornets au limaçon ; par *conséquent*, le groupe interne des trous ethmoïdaux de la lame supé-

rieure de l'ethmoïde correspondrait à la fossette vestibulaire, l'externe à la fossette du limaçon. En effet le vestibule, à cause des sillons, fossettes et lignes saillantes qu'il renferme, trahit une tendance vers la structure celluleuse; son aqueduc a de l'analogie avec les méats supérieur et moyen par lesquels s'écoule la sérosité des cellules ethmoïdales. Les cornets ont, à l'instar du limaçon, une forme contournée; il y en a dans chaque cavité nasale deux et demi, le supérieur pouvant être considéré, à cause de sa brièveté, comme n'étant pas complet; le limaçon aussi n'a que deux tours et demi de spirale. Si les cornets n'ont pas de canal qui corresponde à l'aqueduc du limaçon, cela s'explique, puisque leur sérosité se volatilise par le passage de l'air; volatilisation qui est aussi la raison pour laquelle les conduits nasaux n'aboutissent pas, à l'instar des aqueducs de Cotunni, dans les veines voisines, mais dans la grande cavité nasale; en revanche, l'ethmoïde possède deux canaux : le méat supérieur pour les cellules postérieures et moyennes, le moyen pour les cellules antérieures, tandis que le vestibule n'est pourvu que d'un seul aqueduc.

Nous bornons ici le parallèle de ces deux sens, suffisant d'ailleurs pour faire saisir, avec leurs affinités, leurs différences essentielles qui résultent de la nature même de l'excitant propre à chacun d'eux.

Là, aussi, s'arrêtent les *considérations générales sur les sens* que nous avons cru devoir présenter au lecteur comme une introduction à l'étude de chaque sens en particulier.

LANE MEDICAL LIBRARY

To avoid fine, this book should be returned on or before the date last stamped below.

F34
L85
t.1 1-2
1859

Longet, F. A.
Traité de physiologie.

7831

NAME	DATE DUE